

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 3 (19)

2017

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ

- Корепов М. В., Стрюков С. А., Корепова Д. А., Симаков М. Д., Макаров Д. К., Мищенко А. В., Тимов С. В.** Генетическая дифференциация и полиморфизм поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) по данным анализа митохондриальной ДНК..... 3
- Недосеко О. И., Викторов В. П.** Архитектурные модули бореальных видов ив подродов *Salix* и *Vetrix* 16
- Хайсарова А. Н., Болотин А. Ю., Тимов С. В.** Видовая структура сообществ мелких млекопитающих Ульяновской области 30
- Леонова Н. А., Мирошниченко Т. Е., Кузнецова А. В.** Особенности биологии и интродукции хозяйственно ценных видов рода *Salvia* в Пензенской области 40
- Закс С. С., Кузьмин А. А., Тимов С. В.** Генетическая структура популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld.) в Среднем Поволжье по данным анализа микросателлитной ДНК 50

ХИМИЯ

- Перелыгин Ю. П., Кабанов С. В.** О взаимосвязи удельной электропроводности раствора труднорастворимой соли и ее произведения растворимости 63

ГЕОГРАФИЯ

- Николаев А. А., Исмагилов Н. В.** Применение нейросетевых технологий для вычисления потоков суммарной солнечной радиации 68
- Абалаков А. Д., Новикова Л. С., Марышкин Д. И.** Ландшафты научно-учебного полигона «Сарма» на Байкале 78
- Артемова С. Н., Иконников Д. С., Ломов С. П.** Общая характеристика развития и динамики ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене 91

UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 3 (19)

2017

CONTENTS

BIOLOGY

- Korepov M. V., Stryukov S. A., Korepova D. A., Simakov M. D., Makarov D. K., Mishchenko A. V., Titov S. V.* Genetic differentiation and polymorphism of the Volga population of the imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) according to a mitochondrial DNA analysis 3
- Nedoseko O. I., Viktorov V. P.* Architectural modules of the boreal species of willow subgenera *Salix* and *Vetrix* 16
- Chajsarova A. N., Bolotin A. Yu., Titov S. V.* The species structure of small mammal communities of Ulyanovsk region 30
- Leonova N. A., Miroshnichenko T. E., Kuznetsova A. V.* Features of biology and introduction of economically valuable species of the genus *Salvia* in Penza region..... 40
- Zaks S. S., Kuzmin A. A., Titov S. V.* The genetic structure of spotted ground squirrel populations (*Spermophilus suslicus* Güld.) in Middle Volga region according to a microsatellite DNA analysis..... 50

CHEMISTRY

- Perelygin Yu. P., Kabanov S. V.* On the interrelation of the sparingly soluble salt solution's specific conductivity and its solubility product..... 63

GEOGRAPHY

- Nikolaev A. A., Ismagilov N. V.* Application of neural network technologies to calculate total solar radiation fluxes 68
- Abalakov A. D., Novikova L. S., Maryshkin D. I.* Landscapes of the scientific-educational ground "Sarma" on lake Baikal 78
- Artemova S. N., Ikonnikov D. S., Lomov S. P.* General characteristics of landscape development and dynamics of the territory of the Upper Sura river and Mokshan district in the Holocene..... 91

УДК 598.279.23:575.2(470.4)

DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-1

М. В. Корепов, С. А. Стрюков, Д. А. Корепова, М. Д. Симаков,
Д. К. Макаров, А. В. Мищенко, С. В. Титов

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ПОЛИМОРФИЗМ ПОВОЛЖСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ОРЛА-МОГИЛЬНИКА (*AQUILA HELIACA*, FALCONIFORMES, ACCIPITRIDAE) ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Орел-могильник (*Aquila heliaca*) – редкий вид, занесенный в Красную книгу России (вид с сокращающейся численностью) (2001) и Красный список МСОП (уязвимый вид). В XXI в. произошло значительное увеличение доли гнездовых участков орлов-могильников с ранее нехарактерным для поволжской популяции способом гнездования. Цель проведенных исследований – анализ генетической дифференциации и полиморфизма поволжской популяции орлов-могильников.

Материалы и методы. Исследованы 25 образцов фрагмента митохондриальной ДНК (D-loop, 345 пн) орлов-могильников (*Aquila heliaca*) с территории семи районов Ульяновской области. Для выделения ДНК использовали перья взрослых птиц. Секвенирование фрагментов Д-петли проводили с использованием набора реактивов для секвенирования ДНК BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit в генетическом анализаторе ABI PRISM 3500 (Applied Biosystems). Анализ гаплотипического и нуклеотидного разнообразия фрагментов мтДНК проведен в программе DnaSP 4.10. С целью выявления мутационной связи и истории происхождения гаплотипов были построены медианные сети с использованием пакета программ NetWork 5.0.0.0.

Результаты. Выявлено восемь гаплотипов, в том числе четыре ранее неизвестных для данного вида. Отмечена низкая генетическая дифференциация как между географическими (0,4–0,7 %), так и битопическими гнездовыми группировками (0,5 %). Максимальное генетическое разнообразие выявлено в Засызранской лесостепи (Богдановский заказник), где сосредоточена крупнейшая в Поволжье гнездовая группировка орлов-могильников. В целом орлы, населяющие Ульяновскую область, относятся к одной полиморфной популяции, особи которой характеризуются высокой экологической пластичностью в выборе мест гнездования.

Выводы. Результаты проведенных исследований показывают, что использование митохондриальных маркеров при изучении генетической структуры

¹ Исследования проведены при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет им. И. Н. Ульянова» на 2014–2015 годы (проект № 2607) и в рамках базовой части государственного задания ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» на 2017–2019 годы (проект № 6.7174.2017/8.9).

ареалов птиц вполне эффективно. Поволжская популяция орла-могильника имеет ряд специфических генетических признаков. Увеличение численности орлов-могильников в регионе происходит в результате адаптации аборигенной поволжской популяции к разнообразным условиям обитания и нетипичным условиям гнездования. Поволжская популяция орла-могильника характеризуется высоким уровнем генетического разнообразия и низкой степенью генетической дифференциации.

Ключевые слова: орел-могильник, *Aquila heliaca*, поволжская популяция, генетическая дифференциация и полиморфизм, митохондриальная ДНК.

M. V. Korepov, S. A. Stryukov, D. A. Korepova, M. D. Simakov,
D. K. Makarov, A. V. Mishchenko, S. V. Titov

GENETIC DIFFERENTIATION AND POLYMORPHISM OF THE VOLGA POPULATION OF THE IMPERIAL EAGLE (*AQUILA HELIACA*, FALCONIFORMES, ACCIPITRIDAE) ACCORDING TO A MITOCHONDRIAL DNA ANALYSIS

Abstract.

Background. The imperial eagle (*Aquila heliaca*) is a rare species listed in the Red book of Russia (the species with decreasing population) (2001) and the IUCN Red list (vulnerable). In the twenty-first century there has been a significant increase in the proportion of breeding territories of imperial eagles with a previously indistinctive way of nesting for the Volga Region population. The goal of the study is to analyze genetic differentiation and polymorphism of the Volga Region population of imperial eagles.

Materials and methods. Collected from 7 areas of Ulyanovsk region, 25 samples of the imperial eagle's (*Aquila heliaca*) mitochondrial DNA fragment (D-loop, 345 bp) were investigated. The DNA was extracted from the adult birds' feathers. The D-loop fragments were sequenced using a set of reagents for DNA sequencing BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit in a genetic analyzer ABI PRISM 3500 (Applied Biosystems). The haplotype and nucleotide diversity of the mtDNA fragments was analyzed in the program DnaSP 4.10. Pursuing the goal of identifying the haplotypes' origin and mutational bonds the researchers constructed median networks using the software package NetWork 5.0.0.0.

Results. 8 haplotypes were identified, including four unknown for this species. There is a low degree of genetic differentiation between the geographic nesting groups (0,4–0,7 %) and between the biotopic groups (0,5 %). The maximum genetic diversity was found in Syzran steppe (Bogdanovsky Reserve) – the location of the largest nesting group of imperial eagles in Volga region. Imperial eagles of Ulyanovsk region belong to the same polymorphic population, with its high ecological flexibility regarding selection of nesting sites.

Conclusions. The research results show that the application of mitochondrial markers in studying of genetic structures of birds' habitats is quite efficient. The Volga Region population of the Eastern Imperial eagle has a number of specific genetic traits. Increased numbers of imperial eagles in the region is the result of adaptation of the indigenous Volga region population to a variety of habitats and unusual nesting conditions. The Volga Region population of imperial eagles is characterized by a high level of genetic diversity and a low degree of genetic differentiation.

Key words: Imperial eagle, *Aquila heliaca*, Volga Region population, genetic differentiation and polymorphism, mtDNA.

Орел-могильник (*Aquila heliaca* (Savigny 1809)) – редкий вид, занесенный в Красную книгу России (категория 2 – вид с сокращающейся численностью) (2001) и Красный список МСОП (уязвимый вид). Имеет палеарктическое распространение в пустынных, степных и лесостепных ландшафтах от Словакии на западе до Забайкалья на востоке. В пределах Европейской России выделяют несколько географических популяций, которые отличаются географическим распространением, численностью и ее динамикой, а также особенностями биотопической приуроченности: днепро-донская, прикаспийская, поволжская и южноуральская [1]. Птицы, населяющие Ульяновскую область, относятся к поволжской популяции вида, локализованной в бассейне Средней Волги у северной границы ареала вида и характеризующейся рядом экологических особенностей: предпочтением типичных лесостепных ландшафтов и гнездованием по возвышенным элементам рельефа, как правило, в предвершинных развилках старовозрастных сосен [2, 3]. В настоящее время в пределах Ульяновской области численность вида оценивается в 110–120 пар, отмечается тенденция постепенного ее увеличения. В ходе многолетних исследований (2010–2015) по созданию кадастра гнездовых участков орлов-могильников в регионе выявлено 106 гнездовых территорий, на которых обнаружены гнездовые постройки птиц. Данные исследования показали, что в XXI в. произошло значительное увеличение доли гнездовых участков орлов-могильников с ранее нехарактерным для поволжской популяции способом гнездования – в пониженных элементах рельефа и агроландшафтах, как правило, в развилке ствола в средней части кроны лиственных деревьев. Такой стереотип гнездования характерен для расположенной южнее прикаспийской популяции вида и в конце XX в. в Ульяновской области отмечался очень редко [4]. В настоящее время 34 % всех гнездящихся в Ульяновской области орлов-могильников имеют «прикаспийский» тип гнездования. В Правобережье значения этого показателя ниже среднего по региону – 23 %, а в Поволжье выше – 56 % [5]. Являются ли изменения биотопической приуроченности орлов, населяющих Среднее Поволжье, результатом адаптации птиц поволжской популяции или следствием заселения региона птицами южных популяций, для которых такой стереотип гнездования характерен, остается невыясненным. Внешние морфологические отличия птиц, использующих «поволжский» и «прикаспийский» типы гнездования, отсутствуют.

Цель проведенных исследований – анализ генетической дифференциации и полиморфизма поволжской популяции орлов-могильников, а также выявление наличия или отсутствия связи уровня генетической изменчивости птиц с их распространением и биотопической приуроченностью.

В ходе исследований генетической структуры поволжской популяции орлов-могильников особое внимание было уделено крупнейшей в Среднем Поволжье гнездовой группировке вида, населяющей Засызранскую лесостепь в междуречье Сызранки и Терешки (Богдановский заказник). Данная группировка орлов является наиболее типичной и многочисленной в изучаемом регионе, что позволяет считать ее «ядром» поволжской популяции вида.

Материалы и методы

Материал для генетических исследований собран в 2014 г. в гнездовой период неинвазивными методами с территории семи районов Ульяновской

области (Старомайский, Чердаклинский, Мелекесский, Новомалыклинский, Барышский, Кузоватовский и Радищевский). Для выделения ДНК использовали длинные перья взрослых птиц, преимущественно маховые и рулевые, собранные под жилыми гнездами орлов, а также пульпу перьев птенцов и кровь птиц, содержащихся в неволе. Всего собрано 60 образцов (54 длинных пера, 4 пульпы пера с птенцов и 2 образца крови вольерных птиц), из которых удалось выделить ДНК. В дальнейшем для анализа были отобраны 25 образцов ДНК из трех основных гнездовых группировок вида, населяющих Засызранскую лесостепь ($n = 12$), Заволжье ($n = 8$) и центральную часть Правобережья Ульяновской области ($n = 4$). Из них 17 образцов принадлежит птицам с типичным для поволжской популяции стереотипом гнездования и 8 – птицам с нехарактерным для региона способом гнездования (рис. 1).

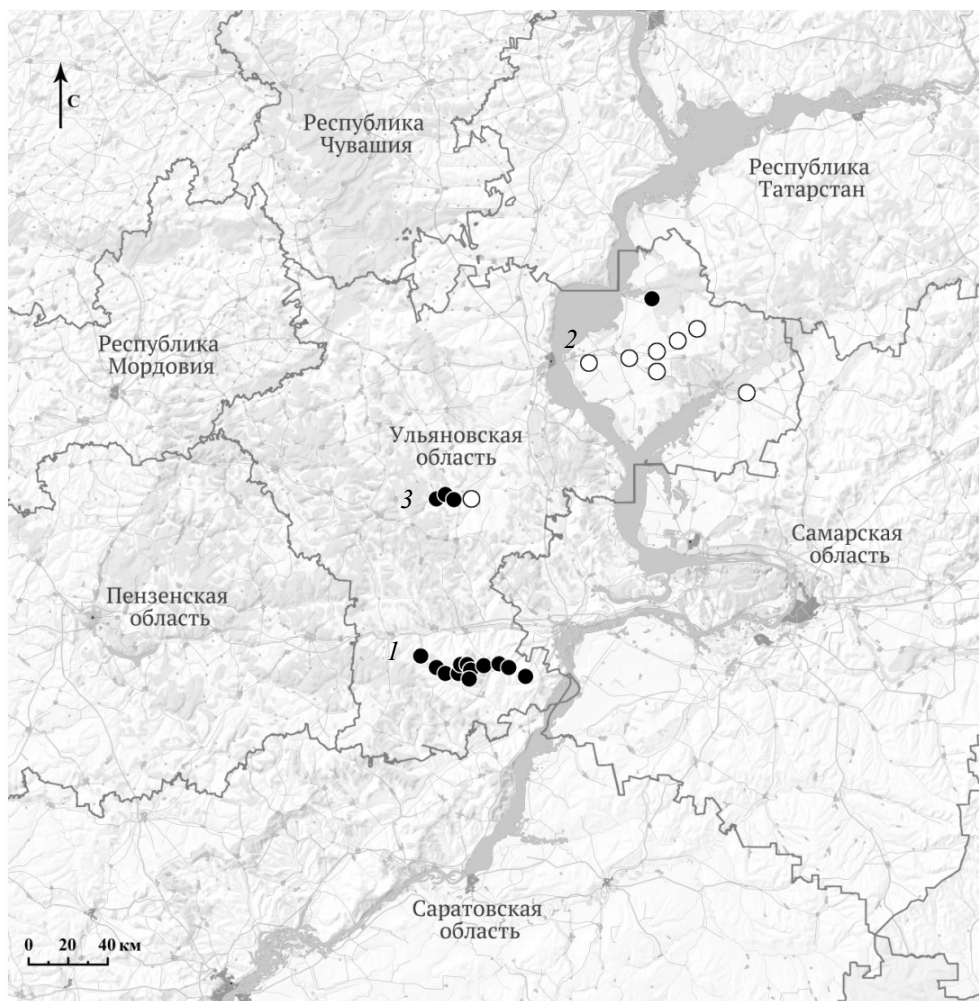


Рис. 1. Места сбора проб для генетического анализа поволжской популяции орла-могильника. Условные обозначения: черные пунсоны – места сбора проб с «поволжским» типом гнездования, белые пунсоны – места сбора проб с «прикаспийским» типом гнездования; 1 – Засызранская гнездовая группировка, 2 – Заволжская гнездовая группировка, 3 – Центральная гнездовая группировка

ДНК выделяли из пульпы, взятой в стержне пера у основания опахала (пульпа пера, взятая с птенцов, использовалась полностью). Материал гомогенизировали с помощью аппарата SpeedMill (AnalytikJena) в лизирующем растворе (содержащем додецилсульфат натрия) с использованием металлических шариков в течение 10 мин, после чего добавляли протеазу К и проводили инкубацию при температуре 56 °С в течение 6 ч. Далее гомогенизат центрифугировали и из полученного супернатанта проводили выделение ДНК на силиконовых колонках с помощью набора GeneJET Genomic DNA Purification Kit (ThermoScientific).

Для генетического анализа образцов ДНК использовали фрагмент (345 пн) гипервариабельного домена I контрольного региона (D-loop) мтДНК при использовании праймеров: AID1 (5'-AAGGGCCATTATTGCCAAA-3') [5] и Fbox (5'-GGGTTGCTGRTTTCACGTGAG-3') [6]. Полимеразную цепную реакцию (PCR) проводили в реакционной смеси, содержащей 50 мМ Трис-НСl (рН 8,9), 20 мМ сульфата аммония, 20 мкМ ЭДТА, 170 мкг/мл бычьего сывороточного альбумина, смесь дезоксирибонуклеозидтрифосфатов (200 мкМ каждого из них), 2 мМ хлористого магния, 0,6 мкМ каждого из праймеров, 0,1–0,2 мкг ДНК и 2 ед. акт. Taq-полимеразы. Амплификацию проводили в следующем режиме: начальная денатурация при 94 °С – 2 мин; 35 циклов – денатурация при 94 °С – 2 мин; отжиг праймеров при 64 °С – 30 с; элонгация при 72 °С – 1 мин; конечная пролонгация при 72 °С – 5 мин [7]. PCR-фрагменты для секвенирования выделяли после их фракционирования в 6 %-м ПААГ элюцией высокосолевым раствором. Секвенирование проводили с использованием набора реактивов для секвенирования ДНК BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit в генетическом анализаторе ABI PRISM 3500 (Applied Biosystems).

С целью выявления особенностей генетической структуры повожской популяции орла-могильника в Ульяновской области был проведен анализ последовательностей мтДНК (D-loop, 345 пн) с использованием пакета программ MEGA 6.06 [8]. Помимо проб, полученных с территории Ульяновской области, было проанализировано 15 последовательностей уже известных гаплотипов мтДНК (GenBank NCBI – AJ574880 – AJ574885 [9]; EU433560, EU433561; KC555570 – KC555575 [10]), характеризующих орлов западной (паннонской) популяции, населяющих территорию Словакии и Венгрии, и зауральской популяции, населяющей Северный Казахстан (Наурзумский заповедник) (табл. 1). При этом за гаплотип D был принят секвенированный образец AJ567367 [9], для которого в GenBank отсутствует указание принадлежности к какому-либо из известных гаплотипов.

Полученные в ходе исследования нуклеотидные последовательности вновь выявленных гаплотипов мтДНК орла-могильника были депонированы в GenBank NCBI под номерами KU999948 (гаплотип RA), KU999949 (RA), KU999950 (RA), KU999951 (RB), KU999952 (RC), KU999953 (RD).

Анализ гаплотипического и нуклеотидного разнообразия фрагментов мтДНК проведен в программе DnaSP 4.10 [11]. С целью выявления мутационной связи и истории происхождения гаплотипов были построены медианные сети с использованием пакета программ NetWork 5.0.0.0 (<http://www.fluxus-engineering.com>).

Известные и обнаруженные в Ульяновской области гаплотипы мтДНК (D-loop, 345 пн) орла-могильника

Гаплотип	Нуклеотидные замены и номера их позиций в последовательности										Номера депонированных последовательностей (GenBank)	
	1	1	1	1	2	2	2	3	3			
	4	9	0	1	3	8	1	2	3	2		2
Нап D*	A	A	C	C	G	G	T	A	T	A	C	AJ567367
Нап E*	C	.	.	.	.	AJ574880
Нап F*	A	.	.	.	.	.	.	AJ574881
Нап G, H	.	G	.	T	.	.	C	.	C	.	.	AJ574882, AJ574883
Нап I	.	G	.	T	.	.	C	.	.	.	.	AJ574884
Нап J	G	A	AJ574885
Нап K	G	G	.	T	.	.	C	G	.	.	.	EU433560
Нап L	C	G	.	.	.	EU433561
Нап M, N	.	G	.	T	.	.	C	G	C	.	.	KC555570, KC555571
Нап P	G	G	.	T	.	.	C	.	.	.	.	KC555572
Нап Q	.	G	.	T	A	.	C	G	.	.	.	KC555573
Нап R*	C	.	C	.	.	KC555574
Нап S	A	.	C	.	.	.	.	KC555575
Нап RA*	.	G	.	T	.	.	C	G	.	.	.	KU999948, KU999949, KU999950
Нап RB*	.	G	.	T	.	.	.	.	.	.	.	KU999951
Нап RC*	.	.	T	.	A	.	.	.	.	.	.	KU999952
Нап RD*	C	.	.	.	.	.	KU999953

Примечание. Нап D–S – известные гаплотипы (GenBank, NCBI), обнаруженные в Карпатском бассейне (Словакия и Венгрия) и Наурзумском заповеднике (Северный Казахстан); Нап RA–RD – гаплотипы, впервые обнаруженные в Среднем Поволжье. Звездочкой (*) обозначены гаплотипы, обнаруженные на территории Ульяновской области.

Результаты

Уровень изменчивости фрагментов контрольного региона мтДНК орла-могильника (число нуклеотидных замен) оказался низким, что соответствует внутривидовому, и изменяется в пределах от 2,1 до 0,0 % (в среднем около 0,7 %). При этом соотношение транзиций и трансверсий (Ts/Tv) составило 8,0286 (R), а нуклеотидные частоты составили для A = 28,9 %, T = 28,2 %, C = 24,2 % и G = 18,7 %.

Для выявления особенностей генетической структуры поволжской популяции орла-могильника был проведен UPGMA-анализ последовательностей фрагментов мтДНК с использованием эволюционной модели K2 (2-параметрический метод Кимуры, SBL – 0,02278, максимальный логарифм правдоподобия: –540,906). Выбор эволюционной модели в анализе определяется результатами модель-теста, по которому по использованному митохондриальному

маркеру для модели K2 были получены минимальные значения Байесового информационного критерия (BIC) – 1516,81.

Проведенный анализ нуклеотидных последовательностей методом UPGMA позволил построить кладограмму и объединить гаплотипы из отдельных гнездовых участков в несколько кластеров (рис. 2). Сопоставление выделенных групп не выявило связи между генетической изменчивостью орлов и их биотопической приуроченностью, связанной с типичным («поволжским») и нетипичным («прикаспийским») способами гнездования. Степень дивергенции внутри рассматриваемых групп составила 0,6 и 0,4 % соответственно, а между группами – лишь 0,5 %. Уровень генетического разнообразия внутри групп и для всей выборки в целом оказался равным и составил 0,5 %, а среднее значение межгруппового генетического разнообразия – 0,02 %. Также незначительным оказался уровень дифференциации между основными гнездовыми группировками орлов-могильников, населяющими Засызранскую лесостепь, центральную часть Правобережья и Заволжье Ульяновской области. Дивергенция внутри рассматриваемых групп составила 0,5, 0,8 и 0,4 % соответственно. Максимальная степень дивергенции отмечена между гнездовыми группировками, населяющими Засызранскую лесостепь и центральную часть Правобережья (0,7 %), минимальная между группировками, населяющими Засызранскую лесостепь и Заволжье (0,4 %). Генетическое разнообразие внутри гнездовых группировок составило 0,6 %, для всей выборки – 0,5 %, а среднее значение межгруппового генетического разнообразия – лишь 0,05 %. Таким образом, проведенный анализ последовательностей фрагментов мтДНК показал, что орлы-могильники, населяющие Ульяновскую область, по изученному молекулярному маркеру генетически сходны и относятся к одной полиморфной популяции.

Анализ гаплотипического и нуклеотидного разнообразия поволжской популяции орла-могильника (DnaSP 4.10) по 25 секвенсам фрагментов контрольного региона мтДНК (345 пн) показал следующие результаты. Число сегрегирующих сайтов составило 8, число мутаций – 8. Было выделено 8 гаплотипов (h), гаплотипическое разнообразие (Hd) составило 0,797, нуклеотидное разнообразие (Pi) – 0,00512, среднее число нуклеотидных различий (k) – 1,77. Проведенный Таджима-тест описанных выше гнездовых группировок выявил почти достоверное ($p > 0,1$) значение показателя T's D (–0,527). Близость этого показателя к нулю свидетельствует о соответствии числа выявленных гаплотипов числу сегрегирующих сайтов и указывает на генетическое равновесие между гнездовыми группировками и на отсутствие каких-либо действий отбора. В то же время отрицательное значение T's D-показателя свидетельствует о незначительном по скорости увеличении общей численности гнездовых группировок орлов. На такую же особенность генетической структуры поволжской популяции орлов-могильников указывает и низкая степень фиксации гаплотипов мтДНК в гнездовых группировках ($F_{ST} = 0,0294$, $Nm = 16,45$).

Из 8 гаплотипов мтДНК орлов-могильников, выявленных на территории Ульяновской области, четыре (RA, RB, RC, RD) не были ранее описаны для исследуемого вида. Первые два гаплотипа отличаются от уже известных отсутствием 1-2 гаплотипических замен (позиция 239 и позиции 219, 227, соответственно). Два других характеризуются специфическими заменами

(позиции 108 и 185 соответственно) (см. табл. 1). Из 15 гаплотипов, обнаруженных в Словакии, Венгрии и Казахстане, на территории Ульяновской области отмечено только 4 (D, E, F, R) (см. табл. 1). Такое распределение гаплотипов показывает некоторую обособленность поволжской популяции орла-могильника относительно западных и восточных популяций. На долю вновь обнаруженных гаплотипов мтДНК приходится 24 % всей выборки. При этом три из четырех гаплотипов не столь широко распространены в поволжской популяции и в изученной выборке представлены только одним образцом.

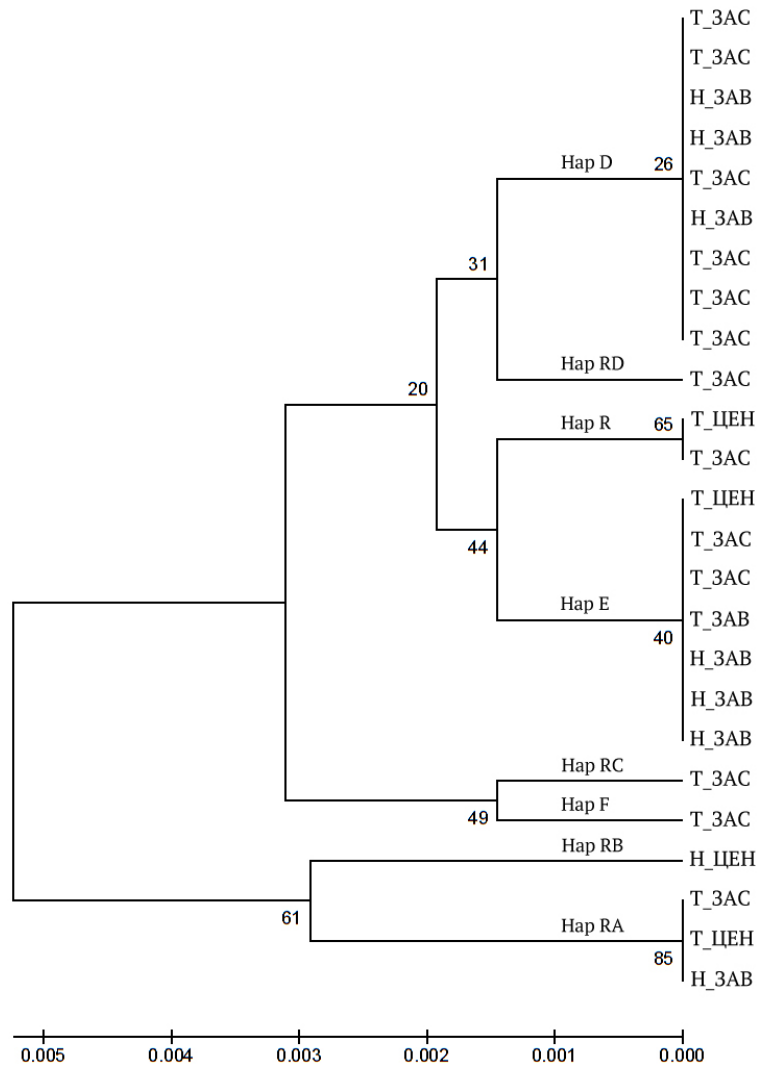


Рис. 2. Результаты генетического UPGMA-анализа (2-параметрическая модель Кимуры, K2) нуклеотидных последовательностей ($n = 25$) фрагмента контрольного региона (D-loop) мтДНК (345 пн), показывающие различия между гаплотипами, характеризующими современную популяцию орла-могильника в Ульяновской области. Условные обозначения: в узлах – результаты бутстреп-анализа (1000 реплик), шкала – генетические дистанции между гаплотипами, Т – места сбора проб с «поволжским» типом гнездования, Н – места сбора проб с «прикаспийским» типом гнездования, ЗАС – Засыранская гнездовая группировка, ЗАВ – Заволжская гнездовая группировка, ЦЕН – Центральная гнездовая группировка

В анализируемой выборке образцов мтДНК орлов-могильников из Ульяновской области максимальное гаплотипическое разнообразие отмечено для гнездовой группировки, населяющей Засызранскую лесостепь (Богдановский заказник) и характеризующейся наиболее типичными условиями гнездования поволжской популяции вида (рис. 3).

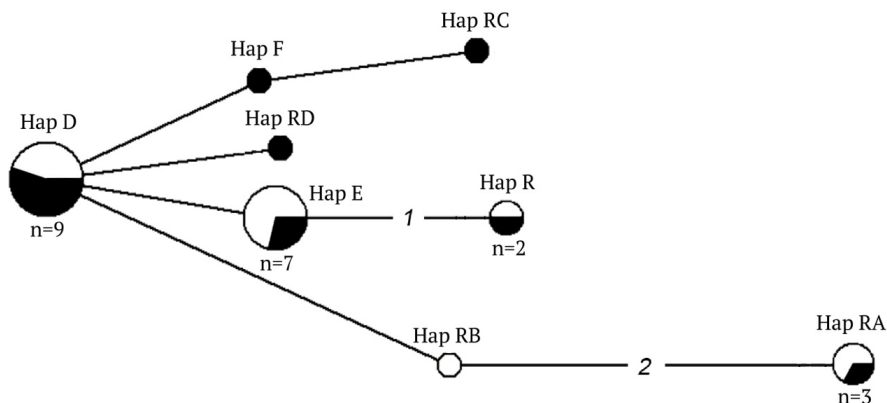


Рис. 3. Медианная сеть гаплотипов нуклеотидных последовательностей ($n = 25$) фрагмента контрольного региона (D-loop) мтДНК (345 пн) орлов-могильников из Ульяновской области. Длина ветвей, соединяющих отдельные гаплотипы, пропорциональна количеству мутационных шагов (указаны цифрой по линии связи). Размер круга указывает на относительную частоту соответствующих гаплотипов в поволжской популяции. Белым цветом показаны гаплотипы орлов из Заволжской и Центральной гнездовых группировок, черным – из Засызранской гнездовой группировки (Богдановский заказник)

В ходе исследований было обнаружено семь из восьми выявленных на территории региона гаплотипов мтДНК, что подтверждает оправданность организации Богдановского заказника в качестве особо охраняемой природной территории для сохранения «ядра» поволжской популяции орла-могильника, имеющей максимальную плотность населения и высокое генетическое разнообразие. Результаты медианного теста указывают на преобладание анцестрального для Среднего Поволжья гаплотипа D, а также нескольких линий генетически связанных с ним гаплотипов. При этом отметим, что наибольшая часть выборки (67 %) с гаплотипом D была сформирована с территории Засызранской лесостепи, тогда как доля этого гаплотипа в общем генетическом разнообразии данной гнездовой группировки оказалась ниже (46 %).

Медианный тест гаплотипов по трем евразийским популяциям орлов-могильников (паннонской, зауральской и поволжской) указывает на отсутствие четкой географической группировки гаплотипов из различных локалитетов Северной Евразии. Все гаплотипы рассматриваемых популяций тесно связаны между собой густой сетью (рис. 4), при этом наблюдается преобладание гаплотипов D и E. Значительную долю как паннонской (46 %, $n = 24$) [10], так и поволжской (28 %, $n = 25$) популяций составляют орлы с гаплотипом E. В последней популяции еще более значительная часть выборки (36 %, $n = 25$) приходится на гаплотип D. Орлы зауральской популяции также представлены преимущественно гаплотипами D (53 %) и E (42 %)

($n = 20$) [9]. При этом наблюдается некоторое увеличение генетического разнообразия популяций орла-могильника при продвижении с востока на запад, что, однако, может быть связано с их неравномерной изученностью.

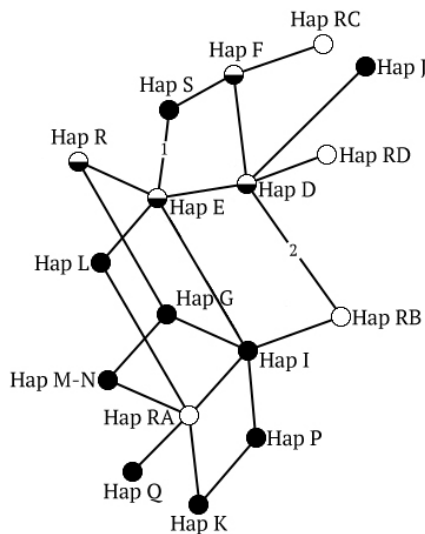


Рис. 4. Медианная сеть гаплотипов нуклеотидных последовательностей фрагмента контрольного региона (D-loop) мтДНК (345 пн) орлов-могильников с территории Северной Евразии. Длина ветвей, соединяющих отдельные гаплотипы, пропорциональна количеству мутационных шагов (указаны цифрой по линии связи). Белые пунсоны – гаплотипы из поволжской популяции, черные пунсоны – гаплотипы из паннонской и (или) зауральской популяций, черно-белые пунсоны – общие гаплотипы для всех поволжской и паннонской и (или) зауральской популяций

Обсуждение

Результаты проведенных исследований показывают, что использование митохондриальных маркеров при изучении генетической структуры ареалов столь подвижных фаунистических элементов, какими являются птицы, вполне эффективно и позволяет выявить различия или сходства в уровне генетической дифференциации и степени дивергенции отдельных популяций и пространственно-временных группировок, а также изучить генетические особенности отдельных географических популяций.

Из результатов проведенных исследований видно, что поволжская популяция орла-могильника имеет ряд специфических генетических признаков, прежде всего, связанных с наличием присущих только ей гаплотипов мтДНК (половина от обнаруженных), обнаруженных у птиц как с типичным, так и с нетипичным стереотипом гнездования. Этот факт свидетельствует о том, что увеличение численности поволжской популяции орлов, вероятно, не связано с экспансией Среднего Поволжья птицами прикаспийской популяции. Более вероятна ситуация, при которой увеличение численности орлов-могильников в рассматриваемом регионе происходит в результате адаптации коренной, поволжской, популяции вида к разнообразным условиям обитания в малоблесенных ландшафтах и нетипичным условиям гнездования. Для подтверждения этой гипотезы, а также для расширения данных о гаплотипическом разнообразии вида в Поволжье необходимо увеличить изученную

выборку орлов-могильников. При этом даже на имеющихся данных можно с уверенностью констатировать высокий уровень генетического разнообразия и низкий уровень генетической дифференциации поволжской популяции орла-могильника.

Библиографический список

1. **Белик, В. П.** Популяционная структура ареала орла-могильника в Северной Евразии / В. П. Белик, В. М. Галушин // Королевский орел: распространение, состояние популяций и перспективы охраны орла-могильника (*Aquila heliaca*) в России : сб. науч. тр. – М. : Союз охраны птиц России, 1999. – С. 129–139.
2. **Корепов, М. В.** Распространение и численность могильника (*Aquila heliaca*, *Falconiformes*, *Accipitridae*) в центральной части Приволжской возвышенности / М. В. Корепов // Зоологический журнал. – 2012. – Т. 91, № 2. – С. 190–201.
3. **Корепов, М. В.** Солнечный орел (*Aquila heliaca*) – природный символ Ульяновской области / М. В. Корепов, О. В. Бородин. – Ульяновск : НИЦ «Поволжье», 2013. – 120 с.
4. Современное состояние орла-могильника в Ульяновской области / О. В. Бородин, С. Л. Смирнова, Т. В. Свиридова, М. А. Корольков, Т. О. Барабашин [и др.] // Королевский орел: распространение, состояние популяций и перспективы охраны орла-могильника (*Aquila heliaca*) в России : сб. науч. тр. – М. : Союз охраны птиц России, 1999. – С. 68–73.
5. **Корепов, М. В.** Толерантность к человеку – важнейший фактор адаптации орла-могильника к современным условиям хозяйствования в лесостепи Среднего Поволжья / М. В. Корепов, С. А. Стрюков // XIV Международная орнитологическая конференция Северной Евразии. I. Тезисы. – Алматы, 2015. – С. 255, 256.
6. Красная книга Российской Федерации (животные). – Балашиха : Астрель, 2001. – 862 с.
7. **Godoy, J. A.** Phylogeography, genetic structure and diversity in the bearded vulture (*Gypaetus barbatus* L.), as revealed by mitochondrial DNA / J. A. Godoy, J. J. Negro, F. Hiraldo, J. A. Donazar // Molecular Ecology. – 2004. – № 13. – P. 371–390.
8. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0 / K. Tamura, G. Stecher, D. Peterson, A. Filipski, S. Kumar // Molecular Biology and Evolution. – 2013. – № 13. – P. 2725–2729.
9. **Martinez-Cruz, B.** Population genetics after fragmentation: the case of the endangered Spanish imperial eagle (*Aquila adalberti*) / B. Martinez-Cruz, J. A. Godoy, J. J. Negro // Molecular Ecology. – 2004. – № 13. – P. 2243–2255.
10. Genetic structure of the Imperial Eagle (*Aquila heliaca*) population in Slovakia / N. Vili, M. Horvath, K. Szabo, E. Hornung, L. Kalmar, M. Horvath // Slovak Raptor Journal. – 2009. – № 3. – P. 21–28.
11. **Rozas, J.** DnaSP, DNA polymorphism analyses by the coalescent and other methods / J. Rozas, C. Sanchez-BelBarrio, X. Messeguer, R. Rozas // Bioinformatics. – 2003. – № 19. – P. 2496, 2497.

References

1. Belik V. P., Galushin V. M. *Korolevskiy orel: rasprostranenie, sostoyanie populyatsiy i perspektivy okhrany orla-mogil'nika (Aquila heliaca) v Rossii: sb. nauch. tr.* [The imperial eagle: dissemination, condition of population and preservation prospects of *Aquila heliaca* in Russia: collected papers]. Moscow: Soyuz okhrany ptits Rossii, 1999, pp. 129–139.
2. Korepov M. V. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological journal]. 2012, vol. 91, no. 2, pp. 190–201.
3. Korepov M. V., Borodin O. V. *Solnechnyy orel (Aquila heliaca) – prirodnyy simvol Ul'yanovskoy oblasti* [The imperial eagle (*Aquila heliaca*) – the nature symbol of Ulyanovsk region]. Ulyanovsk: NITs «Povolzh'e», 2013, 120 p.

4. Borodin O. V., Smirnova S. L., Sviridova T. V., Korol'kov M. A., Barabashin T. O. et al. *Korolevskiy orel: rasprostranenie, sostoyanie populyatsiy i perspektivy okhrany orla-mogil'nika (Aquila heliaca) v Rossii: sb. nauch. tr.* [The imperial eagle: dissemination, condition of population and preservation prospects of *Aquila heliaca* in Russia: collected papers]. Moscow: Soyuz okhrany ptits Rossii, 1999, pp. 68–73.
5. Korepov M. V., Stryukov S. A. *XIV Mezhdunarodnaya ornitologicheskaya konferentsiya Severnoy Evrazii. I. Tezisy* [XIV International ornithological conference of Northern Eurasia. I. Theses]. Almaty, 2015, pp. 255, 256.
6. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (zhivotnye)* [The Red Book of the Russian Federation (animals)]. Balashikha: Astrel', 2001, 862 p.
7. Godoy J. A., Negro J. J., Hiraldo F., Donazar J. A. *Molecular Ecology*. 2004, no. 13, pp. 371–390.
8. Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. *Molecular Biology and Evolution*. 2013, no. 13, pp. 2725–2729.
9. Martinez-Cruz B., Godoy J. A., Negro J. J. *Molecular Ecology*. 2004, no. 13, pp. 2243–2255.
10. Vili N., Horvath M., Szabo K., Hornung E., Kalmar L., Horvath M. *Slovak Raptor Journal*. 2009, no. 3, pp. 21–28.
11. Rozas J., Sanchez-BelBarrio C., Messegnier X., Rozas R. *Bioinformatics*. 2003, no. 19, pp. 2496, 2497.

Корепов Михаил Владимирович

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра биологии и химии, Ульяновский
государственный педагогический
университет им. И. Н. Ульянова (Россия,
г. Ульяновск, площадь 100-летия со дня
рождения В. И. Ленина, 4)

E-mail: korepov@list.ru

Korepov Mikhail Vladimirovich

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of biology and
chemistry, Ulyanovsk State Pedagogical
University named after I. N. Ulyanov
(4 100-letiya so dnya rozhdeniya
V. I. Lenina square, Ulyanovsk, Russia)

Стрюков Станислав Андреевич

аспирант, Ульяновский государственный
педагогический университет
им. И. Н. Ульянова (Россия,
г. Ульяновск, площадь 100-летия
со дня рождения В. И. Ленина, 4)

E-mail: Stanislav_str@mail.ru

Stryukov Stanislav Andreevich

Postgraduate student, Ulyanovsk State
Pedagogical University named after
I. N. Ulyanov (4 100-letiya so dnya
rozhdeniya V. I. Lenina square,
Ulyanovsk, Russia)

Корепова Дарья Александровна

заведующий отделом природы,
Ульяновский областной краеведческий
музей им. И. А. Гончарова (Россия,
г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 3/4)

E-mail: dahafomina@list.ru

Korepova Daria Aleksandrovna

Head of the Department of Nature,
Ulyanovsk Regional Museum of Nature
and History (3/4 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Симаков Максим Дмитриевич

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

E-mail: maksimakov@bk.ru

Simakov Maxim Dmitrievich

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

Макаров Денис Константинович

младший научный сотрудник,
Научно-исследовательский центр
фундаментальных и прикладных
проблем биоэкологии и биотехнологии,
Ульяновский государственный
педагогический университет
им. И. Н. Ульянова (Россия,
г. Ульяновск, площадь 100-летия
со дня рождения В. И. Ленина, 4)

E-mail: dk.makarov@mail.ru

Мищенко Андрей Владимирович

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра географии и экологии,
Ульяновский государственный
педагогический университет
им. И. Н. Ульянова (Россия,
г. Ульяновск, площадь 100-летия
со дня рождения В. И. Ленина, 4)

E-mail: a.misch@mail.ru

Титов Сергей Витальевич

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой зоологии
и экологии, декан факультета физико-
математических и естественных наук,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: svtitov@yandex.ru

Makarov Denis Konstantinovich

Junior researcher, Research Center
of Fundamental and Applied Problems
of Bioecology and Biotechnology,
Ulyanovsk State Pedagogical University
named after I. N. Ulyanov (4 100-letiya
so dnya rozhdeniya V. I. Lenina square,
Ulyanovsk, Russia)

Mishchenko Andrey Vladimirovich

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of geography
and ecology, Ulyanovsk State Pedagogical
University named after I. N. Ulyanov
(4 100-letiya so dnya rozhdeniya
V. I. Lenina square, Ulyanovsk, Russia)

Titov Sergey Vital'evich

Doctor of biological sciences, professor,
head of sub-department of zoology and
ecology, dean of the Faculty of Physics,
Mathematics and Natural Sciences, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

УДК 598.279.23:575.2(470.4)

Корепов, М. В.

Генетическая дифференциация и полиморфизм поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) по данным анализа митохондриальной ДНК / М. В. Корепов, С. А. Стрюков, Д. А. Корепова, М. Д. Симаков, Д. К. Макаров, А. В. Мищенко, С. В. Титов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 3–15. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-1

АРХИТЕКТУРНЫЕ МОДУЛИ БОРЕАЛЬНЫХ ВИДОВ ИВ ПОДРОДОВ *SALIX* И *VETRIX*

Аннотация.

Актуальность и цели. Для предотвращения стремительного сокращения лесного покрова Земли необходимы углубленные исследования как жизни отдельных видов деревьев и кустарников, так и состава и структуры лесного полога в целом. Этому способствуют исследования жизненных форм и архитектоники крон древесных видов. Цель работы – выявление структурно-функциональной организации крон бореальных видов ив подродов *Salix* и *Vetrix*.

Материалы и методы. При изучении архитектурных модулей была использована авторская методика, основанная на трех признаках: типе ветвления, размере зоны отмирания вегетативных побегов, долговечности вегетативных частей генеративных побегов. На основе этой методики исследованы бореальные виды ив: два вида из подрода *Salix* и шесть видов из подрода *Vetrix*.

Результаты. Всего у исследованных видов выделено четыре архитектурных модуля: модуль, развивающийся на базе акротонии с одноэтапно-оппадающими сережками; модуль, основанный на акротонии с двухэтапно-оппадающими сережками; модуль, основанный на мезотонии с двухэтапно-оппадающими сережками. Выявлено, что для каждой группы ив, относящихся к разным жизненным формам (деревья и высокие кустарники, кустарники средней величины, низкие кустарники) характерен свой архитектурный модуль. У женских особей каждого вида (кроме ивы остролистной) наблюдается большее разнообразие типов трехлетних побеговых систем (ТПС) по сравнению с мужскими. При подсчете ассимилирующих (годичных) побегов в составе ТПС особей разного пола выяснилось, что у женских особей их в 1,3–1,7 раза больше, чем у мужских. Анализ числа ТПС с годичными побегами, развивающимися из спящих почек, показал, что они встречаются у низких кустарников в 3–6 раз чаще, чем у деревьев.

Выводы. Архитектурные модули обусловлены интенсивностью отмирания верхних метамеров побегов, связанным с ней типом ветвления, а также долговечностью вегетативных частей генеративных побегов. Архитектурные модули имеют гендерные отличия, проявляющиеся в большей степени разветвленности и большем числе годичных ассимилирующих побегов у женских особей. У особей жизненных форм деревьев и высоких кустарников в пределах крон женских и мужских особей верхние, срединные и нижние ветви отличаются качественно (по числу архитектурных типов ТПС) и количественно (доля участия архитектурных типов ТПС): наибольшее число архитектурных типов характерно для верхних и срединных модельных ветвей, а наименьшее – для нижних.

Ключевые слова: архитектурная модель; архитектурный модуль; крона; трехлетняя побеговая система; модельная ветка: верхняя, срединная, нижняя.

О. И. Nedoseko, V. P. Viktorov

ARCHITECTURAL MODULES OF THE BOREAL SPECIES OF WILLOW SUBGENERA *SALIX* AND *VETRIX*

Abstract.

Background. To prevent rapid reduction of the Earth's forest cover it is necessary to research in detail life peculiarities of individual trees and shrubs, as well

as the composition and structure of the forest canopy in whole. The study of life forms and architectonics of arboreal species' crowns facilitates this aspire. The aim of the work is to reveal a structural and functional organization of crowns of the boreal species of willow subgenera *Salix* and *Vetrix*.

Materials and methods. Architectural modules were studied using the method designed by the authors based on three indications: branching type, size of innovation shoot die-off area, longevity of vegetative parts of reproductive shoots. Using the said methodology the authors examined the following willow species: two species of *Salix* subgenus and 6 species of *Vetrix* subgenus.

Results. Among the examined species there were marked out four architectural modules in total: a module developing on the basis of acrotony with one-phase deciduous aments; a module developing on the basis of acrotony with two-phase deciduous aments; a module developing on the basis of mesotony with two-phase deciduous aments; a module developing on the basis of basitony with two-phase deciduous aments. It has been discovered that each group of willows relating to different life forms (trees and tall shrubs, medium-sized shrubs, low shrubs) is distinguished by its own architectural module. Female specimens of each species (except *Salix acutifolia*) have a greater diversity of three-year shoot systems (TSS) compared to male specimens. Counting of assimilating (one-year) shoots in TSS compositions has led to a result that female specimens have 1,3–1,7 times more of such shoots than male ones. An analysis of TSS with one-year shoots developed from latent buds has shown that such occur 3–6 times more often among low shrubs than trees.

Conclusions. Architectural modules are conditional on die-off intensity of upper shoot metameres, a branching type associated with the said intensity, as well as longevity of vegetative parts of reproductive shoots. Architectural modules have gender differences displayed by a greater branching degree and a greater number of one-year assimilating shoots of female specimens. Crowns of female and male specimens of trees and tall shrubs have upper, medium and lower branches that differ qualitatively (by a number of architectural types of TSS) and quantitatively (a share of participation of architectural types of TSS): the greatest number of architectural types is typical for upper and medium model branches, and the smallest – for lower ones.

Key words: architectural model; architectural module; crown: three-year shoot system; model branch: upper, middle, lower.

Введение

Род *Salix* L. играет большую роль во флоре и растительности Евразии, это один из наиболее крупных и сложных в систематическом отношении родов флоры России, в большинстве районов которой он широко представлен в растительном покрове. Ивы издавна широко используют в самых разных отраслях народного хозяйства [1, 2]. Широкое распространение видов ив коррелирует с разнообразием их жизненных форм [3]. Трансформация жизненных форм в роде *Salix* шла параллельно с сильной изменчивостью вегетативных органов [4].

Структурная основа жизненных форм – архитектурная модель, которая определяет стратегию роста растения. Т. И. Серебрякова [5, 6] установила, что одна и та же архитектурная модель может быть основой для разных жизненных форм, и наоборот. В последнее время в биоморфологии надземные и подземные органы древесных растений активно изучают с позиции «архитектурных моделей», предложенной и развиваемой F. Halle с соавторами [7–9].

У тропических древесных растений элемент архитектурной модели – архитектурная единица, которая многократно повторяется в ходе онтогенеза кроны [10]. Некоторые исследователи [11–13] считают, что к древесным растениям умеренной зоны эта концепция не применима. Это обусловлено как различиями в строении и ритмике развития древесных растений умеренной и тропической зон, так и недостатками самой концепции [14, 15].

Модульную организацию и архитектонику ив Южного Урала на примере секции *Incubaceae* изучила И. А. Гетманец [16]. Она считает, что архитектурная модель рода *Salix*, построенная ей на основе анализа двулетних побеговых систем, наиболее близка к модели “Leeuwenberg” [16]. Однако как показал сравнительно морфологический анализ, эту модель нецелесообразно использовать для характеристики бореальных ив [17–19]. Это связано с тем, что у модели “Leeuwenberg” терминальные соцветия, а у ив – пазушные. Другие отличия: 1) в очередном расположении верхних вегетативных почек (а не «почти супротивном»), 2) в наличии не только трехосных побеговых систем (в понимании И. А. Гетманец, 2011), а также четырехосных и более; 3) имеющейся олиственной нижней части генеративных побегов, сохраняющейся в системе побегов до осени (у 50 % изученных видов). Кроме того, в качестве основной структурной единицы «архитектурной модели» И. А. Гетманец (2011) рассматривает двулетнюю побеговую систему. По нашему мнению, в качестве таковой у ив целесообразнее рассматривать трехлетнюю побеговую систему, которая состоит из трехлетнего, двулетнего (одного или нескольких) и нескольких годичных побегов [17]. Изучение трехлетних побеговых модулей позволяет более подробно проанализировать дальнейшую судьбу побегов нарастания, так как конструктивные признаки определяются более долговечными осевыми органами растения и по сравнению с четырех- и пятилетними в них менее выражено обламывание ветвей.

В связи с этим нами разработана новая методика для изучения архитектоники в роде *Salix* [17–19].

Цель работы: выявление структурно-функциональной организации крон бореальных видов ив подродов *Salix* и *Vetrix*.

Методика исследования

Авторы статьи опирались на работы F. Halle с соавторами [9] и при создании архитектурной модели в роде *Salix* использовали следующие признаки, разработанные в концепции «архитектурных моделей»: способ нарастания осей и положение соцветий.

При изучении крон видов ив необходимой и достаточной является классификация модульных элементов: годичный побег, ТПС (трехлетняя побеговая система), ветвь от ствола, крона в целом. Предложенный авторами архитектурный модуль ТПС согласуется с выделенным И. С. Антоновой [15] подуровнем побеговой системы – эпсион, развивающимся в результате многолетнего роста двулетней побеговой системы в кроне древесных растений.

Всего у деревьев и высоких кустарников исследуется шесть особей (по три особи разного пола), у кустарников средней величины – 18 особей (по девять особей разного пола), у низких кустарников – 20 особей (по 10 особей разного пола).

Изучение ТПС женских и мужских особей позволяет выявить гендерные отличия в структурной организации крон. У каждого экземпляра учитывается общее число ТПС – трехлетних побеговых модулей (трехлетних веток) в кроне, а также процентный состав различных типов ТПС.

У собранных веток детально изучается ход роста по годам, при этом фиксируется число трехлетних, двулетних и однолетних побегов, их длина, а также указываются номера узлов, от которых они отходят и общее число узлов на побеге. При этом учитывается соотношение двулетних побегов к трехлетним, на основании чего выделяются типы «архитектурных» модулей, их процентное соотношение.

Кроме того, необходимо изучать модульную структуру генеративных побегов, этапность их опадения и участие в построении кроны.

Для обработки большого числа ТПС (архитектурных модулей) в кронах видов ив ранее авторы отмечали целесообразность использования формул и схем побегорасположения [17–19].

Формула побегорасположения – соотношение побегов разного возраста с указанием в виде дроби номеров узлов, от которых они отходят (знаменатель) к их общему числу (числитель) на побегах.

Формулы побегорасположения делятся на две подгруппы: 1-я подгруппа – двулетние побеги развиваются из верхних смежных узлов трехлетних; 2-я подгруппа, в которых двулетние побеги развиваются из более нижних узлов трехлетних побегов (табл. 1).

Таблица 1

Примеры написания формул двух подгрупп

Группа ТПС	Пол	№	Формула побегообразования	
			1-я подгруппа	2-я подгруппа
1:1:1	Женский	1	$1\left(\frac{18}{19}\right):1\left(\frac{12}{12}\right):1\left(\frac{11}{11}\right)$	
		2	$1\left(\frac{16}{16}\right):1\left(\frac{11}{11}\right):1\left(\frac{10}{10}\right)$	
		3		$\left(\frac{17}{17}\right):1\left(\frac{13}{15}\right):1\left(\frac{12}{12}\right)$
		4		$1\left(\frac{17}{18}\right):1\left(\frac{12}{18}\right):1\left(\frac{7}{7}\right)$

Одновременно с написанием формулы нужно зарисовывать схему данной побеговой системы (табл. 2). При этом удлиненные побеги (длиной более 50 см) рисуют одним цветом (красным), промежуточные (длиной от 3 до 50 см) – другим (зеленым), укороченные (длиной менее 3 см) – третьим (черным). Границы годовых побегов на схеме показывают разрывами, а силлептические побеги зарисовывают на годовых без разрывов. Кроме того, на схеме нужно показывать угол отхождения побегов.

Примеры ТПС с различными побегами (на рисунке изображены: сплошной линией средней толщины – удлиненные побеги, крупным пунктиром – промежуточные побеги, мелким пунктиром – укороченные побеги, тонкой сплошной линией – силлептические побеги)

Наличие побегов	ТПС		
	соподчиненная система побегов	с побегом, развивающимся из спящей почки	с силлептическими побегами
Формула	$1\left(\frac{9}{9}\right):2\left(\frac{18,21}{23}\right):$ $:5\left(\frac{8,11,13}{15};\frac{7,9}{12}\right)$	$1\left(\frac{9}{9}\right):2\left(\frac{18,21}{23}\right):$ $:6\left(\left[\frac{14}{23}\right];\frac{8,11,13}{15};\frac{7,9}{12}\right)$	$1\left(\frac{9}{9}\right):2\left(\frac{18,21}{23}\right):$ $:5\left(\frac{8,11\{1\},13}{15};\frac{7\{1\},9}{12}\right)$
Схема побегорасположения			

Схема побегорасположения – взаимное расположение на плоскости побегов разного возраста с указанием длины и границ годичных приростов, угла отхождения, наличия силлептических побегов.

Формула и схема побегорасположения взаимодополняют друг друга, их можно использовать и для изучения более взрослых ветвей – четырех-, пяти-летних и др.

Архитектурные модули были изучены на примере восьми видов, из них к подроду *Salix* относятся два вида: *S. triandra* L., *S. fragilis* L.; к подроду *Vetrix* относятся шесть видов: *S. caprea* L., *S. cinerea* L., *S. starkeana* Willd., *S. dasyclados* Wimm., *S. acutifolia* Willd., *S. rosmarinifolia* L. Изученные виды разделены по высоте жизненных форм на четыре группы: 1 – деревья до 17,5–22,5 м (*S. caprea*, *S. fragilis*), 2 – высокие кустарники до 7–7,5 м (*S. acutifolia*, *S. dasyclados*), 3 – кустарники средней высоты до 5–6 м (*S. triandra*, *S. cinerea*), 4 – низкие кустарники до 2,2–3,2 м (*S. rosmarinifolia*, *S. starkeana*).

Результаты исследования

На примере восьми видов было исследовано 1247 ТПС, из них 664 ТПС мужских особей и 583 ТПС женских. У женских особей каждого вида (кроме ивы остролистной) наблюдается большее разнообразие типов ТПС по сравнению с мужскими (табл. 3).

Таблица 3

Доля участия типов ТПС женских и мужских особей ив
(для каждого вида в верхней строчке указаны данные
для мужских особей, а в нижней – для женских)

Вид	Тип ТПС								
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:12
<i>S. caprea</i>	38,4	34,3	15,8	4,6	5	0,9	0,9		
	18	32,7	21,3	10,6	7,8	3,9	3,2	1,2	1,2
<i>S. fragilis</i>	48,7	42,6	6,7	1,9					
	19,5	52,8	17,2	6,6	1,6	1,1	1,2		
<i>S. acutifolia</i>	55,9	31,9	8,8	0,9		2,3	0,9		
	30,2	54,1	13	0,9	1,8				
<i>S. dasyclados</i>	72,1	26,5	1,4						
	22,9	60,7	11,6	3,2		1,6			
<i>S. cinerea</i>	53,6	34,5	6,2		1,4	3,2			
	10,7	41,7	23,6	9,3	1,9	7,4	3,7	5,6	
<i>S. triandra</i>	47,8	28,9	14,9	8,3					
	11,3	33,3	22,9	15,2	3,7	7,8	4	1,9	
<i>S. rosmarinifolia</i>	55,9	22,4	20,4						
	35,9	38,7	25,5	1,5					
<i>S. starkeana</i>	47,5	28,7	18,1	5,1	1,3				
	13,4	37,8	23,8	13,5	7,8	3,7			

Кроме того, при подсчете ассимилирующих (годовых) побегов в составе ТПС особей разного пола выяснилось, что у женских особей их в 1,3–1,7 раза больше, чем у мужских (табл. 4).

Таблица 4

Доля участия годовых ассимилирующих побегов
в кронах мужских и женских особей

Вид	Число ассимилирующих побегов	
	Мужские особи	Женские особи
<i>S. caprea</i>	391 (41 %)	563 (59 %)
<i>S. fragilis</i>	432 (41,3 %)	615 (58,7 %)
<i>S. acutifolia</i>	280 (43,7 %)	361 (56,3 %)
<i>S. dasyclados</i>	206 (44,1 %)	261 (55,8 %)
<i>S. cinerea</i>	290 (41 %)	417 (59 %)
<i>S. triandra</i>	414 (38,8 %)	653 (61,2 %)
<i>S. starkeana</i>	471 (36,7 %)	812 (63,3 %)
<i>S. rosmarinifolia</i>	506 (49 %)	524 (51 %)

У особей деревьев и высоких кустарников различные части кроны отличаются соотношением годовых ассимилирующих побегов: наибольшее их

число находится в средней и верхней частях кроны, а наименьшее – в нижней (табл. 5).

Таблица 5

Доля участия годичных ассимилирующих побегов в кронах мужских и женских особей деревьев и высоких кустарников

Вид	Число ассимилирующих побегов	
	Мужские особи	Женские особи
Верхняя модельная ветка		
<i>S. caprea</i>	154 (39,4 %)	292 (51,9 %)
<i>S. fragilis</i>	155 (35,9 %)	225 (36,6 %)
<i>S. acutifolia</i>	104 (37,1 %)	137 (38 %)
<i>S. dasyclados</i>	73 (35,4 %)	107 (41 %)
Срединная модельная ветка		
<i>S. caprea</i>	134 (34,3 %)	140 (24,9 %)
<i>S. fragilis</i>	142 (32,9 %)	220 (35,8 %)
<i>S. acutifolia</i>	122 (43,6 %)	137 (38 %)
<i>S. dasyclados</i>	83 (40,3 %)	89 (34 %)
Нижняя срединная ветка		
<i>S. caprea</i>	103 (26,3 %)	131 (23,7 %)
<i>S. fragilis</i>	135 (31,3 %)	170 (27,6 %)
<i>S. acutifolia</i>	54 (19,3 %)	87 (24 %)
<i>S. dasyclados</i>	50 (24,3 %)	65 (24,9 %)

У деревьев в структуре модельных ветвей преобладают типы ТПС 1:1 и 1:2, которые у мужских особей встречаются примерно в одинаковых количествах, а у женских – резко преобладает тип ТПС 1:2 (рис. 1).

У кустарников в структуре кроны мужских особей преобладает тип ТПС 1:1, а женских – 1:2 (рис. 1).

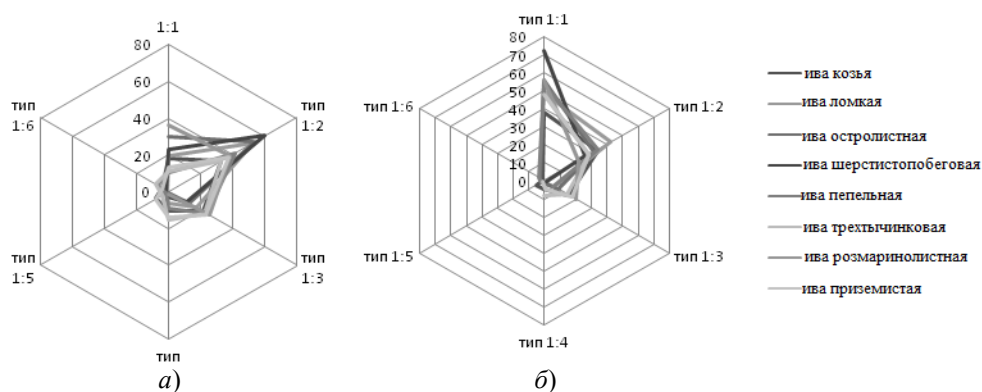


Рис. 1. Соотношение различных типов ТПС в кронах особей изученных видов ив: а – мужских, б – женских; 1 – ива козья, 2 – ива ломкая, 3 – ива остролистая, 4 – ива шерстистопобеговая, 5 – ива пепельная, 6 – ива трехтычинковая, 7 – ива розмаринолистная, 8 – ива приземистая

Анализируя соотношение различных типов ТПС по подгруппам, можно констатировать, что в типах ТПС 1-й подгруппы большинства мужских особей преобладает тип ТПС 1:1, а женских – 1:2 (рис. 2).

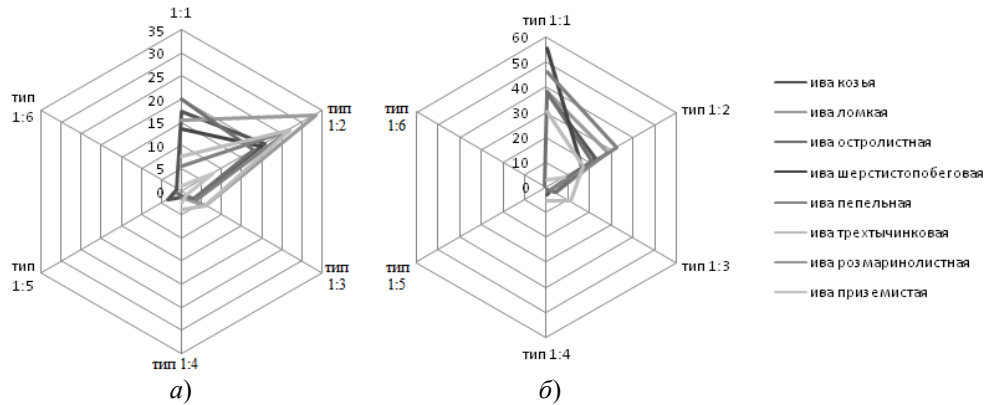


Рис. 2. Соотношение типов ТПС 1 подгруппы особей изученных видов ив:
а – женских, б – мужских

В типах ТПС 2-й подгруппы женских особей преобладает тип 1:2 и 1:3 (рис. 3); у мужских особей большинства видов также преобладает тип ТПС 1:1, но у ивы ломкой – тип ТПС 1:2, ивы козьей – тип 1:3 (рис. 3).

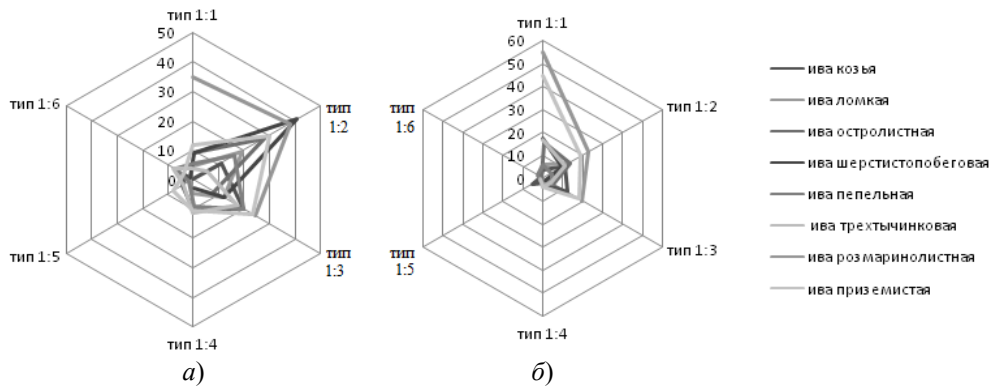


Рис. 3. Соотношение типов ТПС 2 подгруппы особей изученных видов ив:
а – женских, б – мужских

Анализ числа ТПС с годовыми побегами, развивающимися из спящих почек, показал, что они встречаются у низких кустарников в 3–6 раз чаще, чем у деревьев (рис. 4).

Структура ТПС зависит от типа ветвления: у деревьев и высоких кустарников – акротония; у средних и низких кустарников – мезо- и базитония. Сам тип ветвления коррелирует с числом отмирающих верхних метамеров: у высоких жизненных форм на побеге отмирает 1–2, а у средних – до 4, у низких – до половины метамеров побега (табл. 6).

Кроме того, структура ТПС зависит от этапности опадения генеративных побегов. По этому признаку генеративные побеги (сережки) можно разделить на две группы: одноэтапно-оппадающие (*S. caprea*, *S. dasyclados*,

S. acutifolia); двуэтапно-оппадающие (*S. fragilis*, *S. triandra*, *S. cinerea*, *S. starkeana*, *S. rosmarinifolia*). Так как у двуэтапно-оппадающих генеративные побеги опадают в два этапа и их нижняя олиственная часть остается на двулетнем побеге до осени, то их необходимо учитывать в составе ТПС.

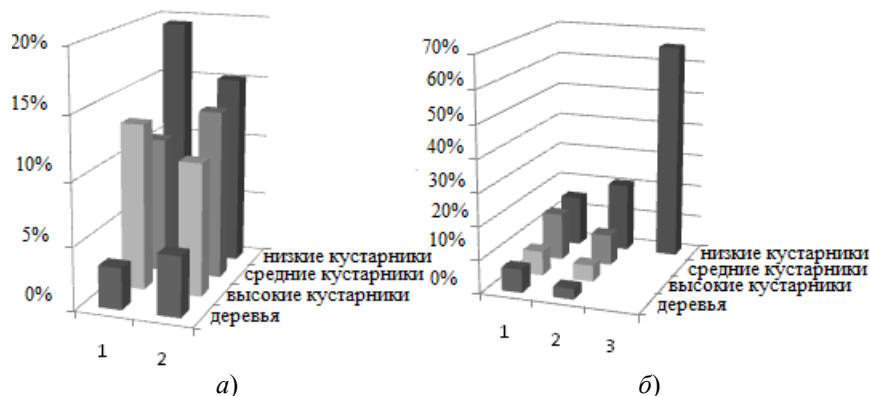


Рис. 4. Доля участия ТПС с годичными побегами, развивающимися из спящих почек у женских (а) и мужских (б) особей ив разных жизненных форм: деревья: 1 – ива козья, 2 – ива ломкая; высокие кустарники: 1 – ива остролистная, 2 – ива шерстистопобеговая; средние кустарники: 1 – ива пепельная, 2 – ива трехтычинковая; низкие кустарники: 1 – ива приземистая, 2 – ива розмаринолистная, 3 – ива пепельная жизненной формы полуводного длиннокилоризомного стланика

Таблица 6

Соотношение отмирающих метамеров годичных побегов изученных видов ив

Вид	Признаки		
	Общее число метамеров побега	Число отмирающих верхних метамеров	Отмирающие метамеры от общего числа на годичном побеге, %
<i>S. caprea</i>	18–22	1–2	5,6–9,1
<i>S. fragilis</i>	18–24	1–2	5,6–8,3
<i>S. acutifolia</i>	16–22	1–2	6,3–9,1
<i>S. dasyclados</i>	19–26	1–2	5,8–7,7
<i>S. cinerea</i>	17–21	2–4	11,8–19
<i>S. triandra</i>	21–24	3–4	14,3–16,7
<i>S. rosmarinifolia</i>	17–24	7–12	41,2–50
<i>S. starkeana</i>	16–25	5–13	31,3–52

С учетом строения генеративных побегов и встраивания их в конструкцию кроны, а также учитывая тип ветвления побегов, у изученных видов можно выделить следующие архитектурные модули:

1 – модуль, развивающийся на базе акротонии с одноэтапно-оппадающими сережками. Характерен для высоких кустарников и деревьев (*S. caprea*, *S. dasyclados*, *S. acutifolia*) (рис. 5);

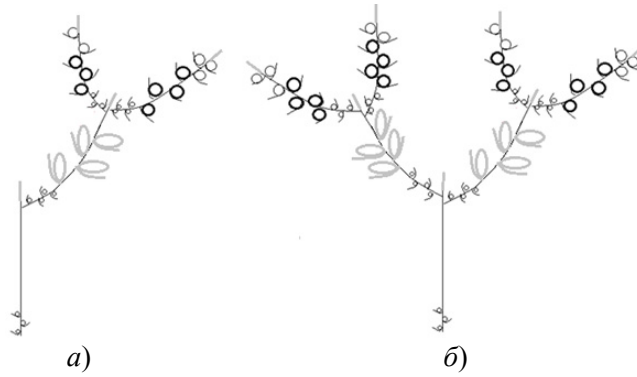


Рис. 5. Архитектурный модуль, основанный на акротонии с одноэтапно-оппадающими сережками (светло-серым цветом показаны отмирающие части побегов и опадающие части сережек)

2 – модуль, основанный на акротонии с двуэтапно-оппадающими сережками. Характерен для деревьев и высоких кустарников (*S. fragilis*) (рис. 6);

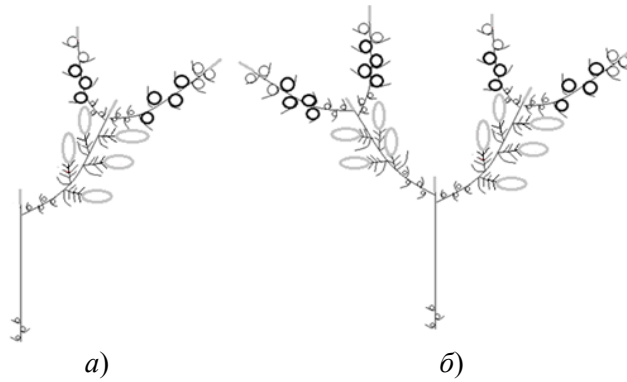


Рис. 6. Архитектурный модуль, основанный на акротонии с двуэтапно-оппадающими сережками

3 – модуль, основанный на мезотонии с двуэтапно-оппадающими сережками. Характерен для кустарников средней величины (*S. triandra*, *S. cinerea*) (рис. 7);

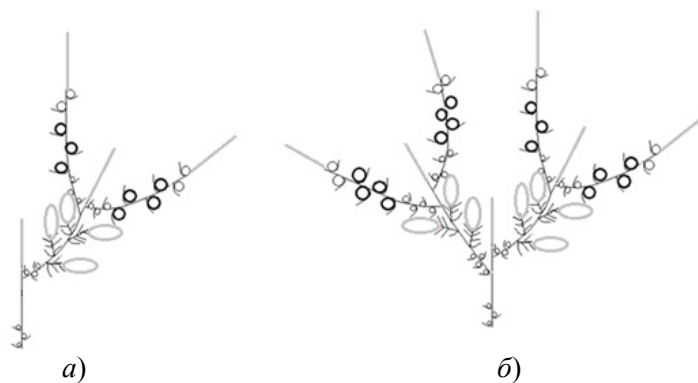


Рис. 7. Архитектурный модуль, основанный на мезотонии с двуэтапно-оппадающими сережками

4 – модуль, основанный на базитонии с двуэтапно-оппадающими сережками. Характерен для низких кустарников *S. starkeana*, *S. Rosmarinifolia* (рис. 8).

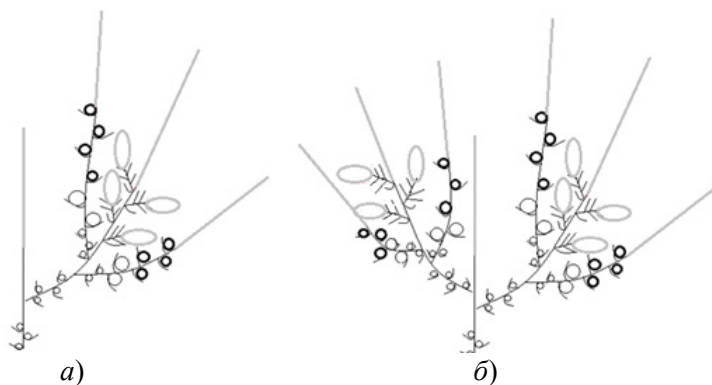


Рис. 8. Архитектурный модуль, основанный на базитонии с двуэтапно-оппадающими сережками (светло-серым цветом показаны отмирающие части побегов и опадающие части сережек)

Выводы

1. Каждой группе ив, относящихся к разным жизненным формам (деревья и высокие кустарники, кустарники средней величины, низкие кустарники) присущ свой архитектурный модуль.

2. У изученных видов выделено четыре архитектурных модуля: два модуля у деревьев и высоких кустарников, по одному модулю у кустарников средней величины и низких кустарников.

3. Архитектурные модули характеризуются разной интенсивностью отмирания верхних метамеров побегов, связанным с ней типом ветвления, а также долговечностью вегетативных частей генеративных побегов.

4. Степень отмирания верхних метамеров годичных побегов коррелирует с развитием побегов из спящих почек: у низких кустарников (отмирает 31,3–52 % метамеров побегов) такие побеги развиваются в 4–6 раз чаще, чем у высоких жизненных форм (отмирает 5,6–9,1 % метамеров побега).

5. Архитектурные модули имеют гендерные отличия, проявляющиеся в большей степени разветвленности и большем числе годичных ассимилирующих побегов у женских особей. Большая поверхность ассимиляции им нужна для формирования семян и плодов.

6. У особей жизненных форм деревьев и высоких кустарников в пределах крон женских и мужских особей верхние, срединные и нижние ветви отличаются качественно (по числу архитектурных типов ТПС) и количественно (доля участия архитектурных типов ТПС): наибольшее число архитектурных типов характерно для верхних и срединных модельных ветвей, а наименьшее – для нижних.

Библиографический список

1. **Скворцов, А. К.** Ивы СССР (систематический и географический обзор) / А. К. Скворцов. – М. : Наука, 1968. – 255 с.
2. **Валягина-Малютина, Е. Т.** Ивы европейской части России / Е. Т. Валягина-Малютина. – М., 2004. – 217 с.

3. **Мазуренко, М. Т.** Основные направления эволюционных перестроек биоморф в роде Ива (*Salix*, *Salicaceae* L.) / М. Т. Мазуренко // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. – 2010. – Вып. 7. – С. 4–22.
4. **Афонин, А. А.** Изменчивость ив брянского лесного массива и перспективы их селекции на устойчивость и продуктивность : автореф. дис. ... д-ра сельскохозяйств. наук / Афонин А. А. – Брянск, 2006. – 46 с.
5. **Серебрякова, Т. И.** Об основных «архитектурных моделях» травянистых растений и модусах преобразования / Т. И. Серебрякова // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 1977. – Т. 82, № 5. – С. 112–125.
6. **Серебрякова, Т. И.** Жизненные формы и модели побегообразования наземно-ползучих многолетних трав / Т. И. Серебрякова // Жизненные формы: структура, спектры и эволюция / ред. Т. И. Серебрякова. – М. : Наука, 1981. – С. 161–179.
7. **Halle, F.** Essay sur l'architecture et la dynamique de croissance de arbres tropicaux / F. Halle, R. A. Oldeman. – Paris, 1970. – 210 p.
8. **Halle, F.** The concept of architectural models in vascular plants / F. Halle // XII Международный ботанический конгресс : тез. докл. – Л. : Наука, 1975. – Т. 1. – 216 с.
9. **Tomlinson, P. B.** Branching and axis differentiation in tropical trees / P. B. Tomlinson // Tropical trees as living systems / ed. by P. B. Tomlinson, M. H. Zimmerman. – Cambridge University Press, 1978. – P. 187–207.
10. **Barthelemy, D.** Plant architecture: A dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny / D. Barthelemy, Y. Caraglio // Ann. Bot. – 2007. – Vol. 99. – P. 375–407.
11. **Антонова, И. С.** Архитектурные модели кроны древесных растений / И. С. Антонова, О. В. Азова // Ботанический журнал. – 1999. – Т. 84, № 3. – С. 10–32.
12. **Федорова, Т. А.** Морфология соцветий / Т. А. Федорова. – М. : Изд-во МГУ, 2006. – 98 с.
13. **Тимонин, А. К.** Ботаника : в 4 т. Т. 3. Высшие растения : учеб. для высш. учеб. заведений / А. К. Тимонин. – М. : Академкнига, 2007. – 352 с.
14. **Костина, М. В.** Генеративные побеги древесных покрытосеменных растений умеренной зоны : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Костина М. В. – М., 2009. – 40 с.
15. **Антонова, И. С.** О динамических единицах строения кроны древесных растений умеренной зоны / И. С. Антонова // Труды IX Международной конференции по экологической морфологии растений, посвященной памяти И. Г. и Т. И. Серебряковых (к 100-летию со дня рождения И. Г. Серебрякова) / под общ. ред. д-ра биол. наук В. П. Викторова. – М., 2014. – Т. 1. – С. 48–51.
16. **Гетманец, И. А.** Экологическое разнообразие и биоморфология рода *Salix* L. Южного Урала : дис. ... д-ра биол. наук / Гетманец И. А. – Челябинск, 2011. – 330 с.
17. **Недосеко, О. И.** Архитектоника ив на примере ивы остролистной / О. И. Недосеко // Труды IX Международной конференции по экологической морфологии растений, посвященной памяти И. Г. и Т. И. Серебряковых (к 100-летию со дня рождения И. Г. Серебрякова) / под общ. ред. д-ра биол. наук В. П. Викторова. – М., 2014. – Т. 2. – С. 326–329.
18. **Недосеко, О. И.** К вопросу изучения модульной организации и архитектоники в роде *Salix* / О. И. Недосеко // Вестник Казахского национального университета. Серия экологическая. – 2015. – № 2/2 (44). – С. 673–678.
19. **Недосеко, О. И.** Архитектурные модели *Salix triandra* L. и *Salix fragilis* L. / О. И. Недосеко, В. П. Викторова // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 2. – С. 39–50.

References

1. Skvortsov A. K. *Ivy SSSR (sistemicheskiy i geograficheskiy obzor)* [Willows of USSR (a systematic and geographical review)]. Moscow: Nauka, 1968, 255 p.

2. Valyagina-Malyutina E. T. *Ivy evropeyskoy chasti Rossii* [Willows of the European part of Russia]. Moscow, 2004, 217 p.
3. Mazurenko M. T. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN* [Bulletin of the Botanical garden-institute of the Far East Branch of RAS]. 2010, iss. 7, pp. 4–22.
4. Afonin A. A. *Izmenchivost' iv bryanskogo lesnogo massiva i perspektivy ikh seleksii na ustoychivost' i produktivnost': avtoref. dis. d-ra sel'skokhoz. nauk* [Variability of willows of Bryansk forestland and prospects of their resistance and productivity selection: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of agricultural sciences]. Bryansk, 2006, 46 p.
5. Serebryakova T. I. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological division]. 1977, vol. 82, no. 5, pp. 112–125.
6. Serebryakova T. I. *Zhiznennye formy: struktura, spektry i evolyutsiya* [Life forms: structure, range and evolution]. Moscow: Nauka, 1981, pp. 161–179.
7. Halle F., Oldeman R. A. *Essay sur l'architecture et la dynamique de crossianci de arbretropicaux* [An essay on the architecture and growth dynamics of tropical trees]. Paris, 1970, 210 p.
8. Halle F. *XII Mezhdunarodnyy botanicheskiy kongress: tez. dokl.* [XII International botanical congress: report theses]. Leningrad: Nauka, 1975, vol. 1, 216 p.
9. Tomlinson P. B. *Tropical trees as living systems*. Ed. by P. B. Tomlinson, M. H. Zimmerman. Cambridge University Press, 1978, pp. 187–207.
10. Barthelemy D., Caraglio Y. *Ann. Bot.* 2007, vol. 99, pp. 375–407.
11. Antonova I. S., Azova O. V. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal]. 1999, vol. 84, no. 3, pp. 10–32.
12. Fedorova T. A. *Morfologiya sotsvetiy* [Inflorescence morphology]. Moscow: Izd-vo MGU, 2006, 98 p.
13. Timonin A. K. *Botanika: v 4 t. T. 3. Vysshie rasteniya: ucheb. dlya vyssh. ucheb. zavedeniy* [Higher plants: textbook for universities]. Moscow: Akademkniga, 2007, 352 p.
14. Kostina M. V. *Generativnye pobegi drevesnykh pokryosemennykh rasteniy umerennoy zony: avtoref. dis. d-ra biol. nauk* [Reproductive shoots of woody angiosperm plants of the temperate zone: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow, 2009, 40 p.
15. Antonova I. S. *Trudy IX Mezhdunarodnoy konferentsii po ekologicheskoy morfologii rasteniy, posvyashchennoy pamyati I. G. i T. I. Serebryakovykh (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya I. G. Serebryakova)* [Proceedings of IX International conference on ecological morphology of plants, commemorating I. G. and T. I. Serebryakovs (devoted to the 100th jubilee of I. G. Serebryakov)]. Moscow, 2014, vol. 1, pp. 48–51.
16. Getmanets I. A. *Ekologicheskoe raznoobrazie i biomorfologiya roda Salix L. Yuzhnogo Urala: dis. d-ra biol. nauk* [Ecological diversity and biomorphology of the genus Salix L. of the South Ural: dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Chelyabinsk, 2011, 330 p.
17. Nedoseko O. I. *Trudy IX Mezhdunarodnoy konferentsii po ekologicheskoy morfologii rasteniy, posvyashchennoy pamyati I. G. i T. I. Serebryakovykh (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya I. G. Serebryakova)* [Proceedings of IX International conference on ecological morphology of plants, commemorating I. G. and T. I. Serebryakovs (devoted to the 100th jubilee of I. G. Serebryakov)]. Moscow, 2014, vol. 2, pp. 326–329.
18. Nedoseko O. I. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo universiteta. Seriya ekologicheskaya* [Bulletin of Kazakh National University. Series: Ecology]. 2015, no. 2/2 (44), pp. 673–678.
19. Nedoseko O. I., Viktorov V. P. *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii* [Social and ecological technologies]. 2016, no. 2, pp. 39–50.

Недосеко Ольга Ивановна

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра биологии, географии и химии,
Арзамасский филиал Нижегородского
государственного университета
им. Н. И. Лобачевского (Россия,
Нижегородская область, г. Арзамас,
ул. К. Маркса, 36)

E-mail: nedoseko@bk.ru

Nedoseko Ol'ga Ivanovna

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of biology,
geography and chemistry, Arzamas Branch
of Lobachevsky State University of Nizhny
Novgorod (36 K. Marxa street, Arzamas,
Nizhny Novgorod region, Russia)

Викторов Владимир Павлович

доктор биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой ботаники,
Московский педагогический
государственный университет (Россия,
г. Москва, ул. Малая Пироговская, 1/1)

E-mail: vpviktorov@mail.ru

Viktorov Vladimir Pavlovich

Doctor of biological sciences, associate
professor, head of sub-department
of botany, Moscow State Pedagogical
University (1/1 Malaya Pirogovskaya street,
Moscow, Russia)

УДК 582.623

Недосеко, О. И.

Архитектурные модули бореальных видов ив подродов *Salix* и *Vetrix* / О. И. Недосеко, В. П. Викторов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 16–29. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-2

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Имея уникальное природное расположение, Ульяновская область относится к лесостепной физико-географической зоне. Разнообразие ландшафтов и широкий спектр стаций в этом регионе создают предпосылки к возникновению большого разнообразия сообществ мелких млекопитающих и неравноценному развитию одновидовых популяций. Изучению населения мелких млекопитающих из отрядов насекомоядные и грызунов Ульяновской области посвящено достаточное количество работ, однако в большинстве из них рассматриваются вопросы, касающиеся только биотопической приуроченности и многолетней динамики численности фоновых видов. Целью исследований являлось изучение видового состава, особенностей распределения и видовой структуры сообществ микромаммалий в различных стациях и сопутствующих биотопов на территории Ульяновской области.

Материалы и методы. Материалом для статьи послужили результаты собственных исследований, которые проводились в полевой сезон 2014–2015 гг. Обследованиями были охвачены 13 районов Ульяновской области и г. Ульяновск. Отлов грызунов проводился с помощью ловушек Геро по стандартной методике. За исследуемый период было отработано 2900 ловушек/сут, отловлено 677 экземпляров мелких млекопитающих.

Результаты. За исследуемый период в отловах было зарегистрировано 8 видов насекомоядных млекопитающих и грызунов. Из 667 добытых экземпляров 481 был отобран для дальнейшего генетического анализа.

Выводы. Исследования показали, что наибольшее видовое разнообразие отмечается в стации «смешанный лес» (7 из 8 регистрируемых), наименьшее – на пойменных участках (по 2 вида в каждой стации). Видовой состав представлен 8 видами насекомоядных и мышевидных грызунов. В целом в отловах преобладает рыжая полевка (35 %), субдоминантой выступает лесная мышь (25 %), которая регистрируется во всех анализируемых стациях.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, грызуны, насекомоядные, структура сообществ, Ульяновская область.

A. N. Chajsarova, A. Yu. Bolotin, S. V. Titov

THE SPECIES STRUCTURE OF SMALL MAMMAL COMMUNITIES OF ULYANOVSK REGION

Abstract.

Background. Having a unique natural arrangement, Ulyanovsk region falls into the forest-steppe physiographic zone. A variety of landscapes and a wide range of habitats in this region create conditions for emergence of a big variety of communities of small mammals and unequal development of homotypical populations.

¹ Исследования проведены при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» на 2017–2019 годы (проект № 6.7174.2017/8.9).

There has been quite a number of works devoted to the population of small mammals relating to insectivorous and rodent orders, however most of them cover questions concerning only biotopical confinedness and long-term population changes of background species. The research purpose is to study the species composition, features of distribution and species structure of micro mammal communities in various habitats and the accompanying biotopes in the territory of Ulyanovsk region.

Materials and methods. The results of studies carried out during the field season of 2014–2015 were taken as the research material. 13 areas of Ulyanovsk region and Ulyanovsk city were zones of the studies. Rodents were caught by means of Gero's traps by the standard technique. For the studied period 2900 traps/days were fulfilled, 677 specimens of small mammals were caught.

Results. 8 species of insectivorous mammals and rodents were registered in the studied period of catching. 481 of insectivorous mammals and rodents were selected for a further genetic analysis (in total 667 insectivorous mammals and rodents were caught).

Conclusions. The research shows that the greatest species variety is located in the "mixed wood" habitat (7 of 8 were recorded), the least – in flood plains (2 species per each habitat). The species structure is presented by 8 species of insectivorous and mouse-like rodents. In general, the captures were prevailed by the red vole (35 %); the forest mouse (25 %) was subdominant being registered in all analyzed habitats.

Key words: small mammals, rodents, insectivorous, structure of communities, Ulyanovsk region.

Имея уникальное природное расположение и располагаясь на стыке степи, лесостепи и леса, территория Ульяновской области относится к лесостепной физико-географической зоне. Вся правобережная часть области входит в Приволжскую, а левобережная – в Кинельско-Камскую физико-географическую провинцию. Граница между ними проходит по правому берегу Волги [1]. Разнообразие ландшафтов и широкий спектр стаций в этом регионе создают предпосылки к возникновению большого разнообразия сообществ мелких млекопитающих и неравноценному развитию одновидовых популяций. Изучению населения мелких млекопитающих из отрядов насекомоядные и грызунов Ульяновской области посвящено достаточное количество работ [2–6], однако в большинстве из них рассматриваются вопросы, касающиеся только биотопической приуроченности и многолетней динамики численности фоновых видов. Данная работа расширяет уже имеющиеся сведения по населению мышевидных грызунов лесостепных ландшафтов Ульяновской области, а также содержит анализ видового состава сообществ этой группы млекопитающих.

Целью исследований являлось изучение видового состава, особенностей распределения и видовой структуры сообществ микромаммалий в различных стациях и сопутствующих биотопах на территории Ульяновской области.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили результаты собственных исследований, которые проводили в полевой сезон 2014–2015 гг. Обследованиями были охвачены 13 районов Ульяновской области и территория г. Ульяновска (рис. 1, табл. 1). Отлов грызунов проводили с помощью ловушек Геро по стандартной методике [7]. За исследуемый период было отработано 2900 ловушек/сут и отловлено 677 экземпляров мелких млекопитающих.

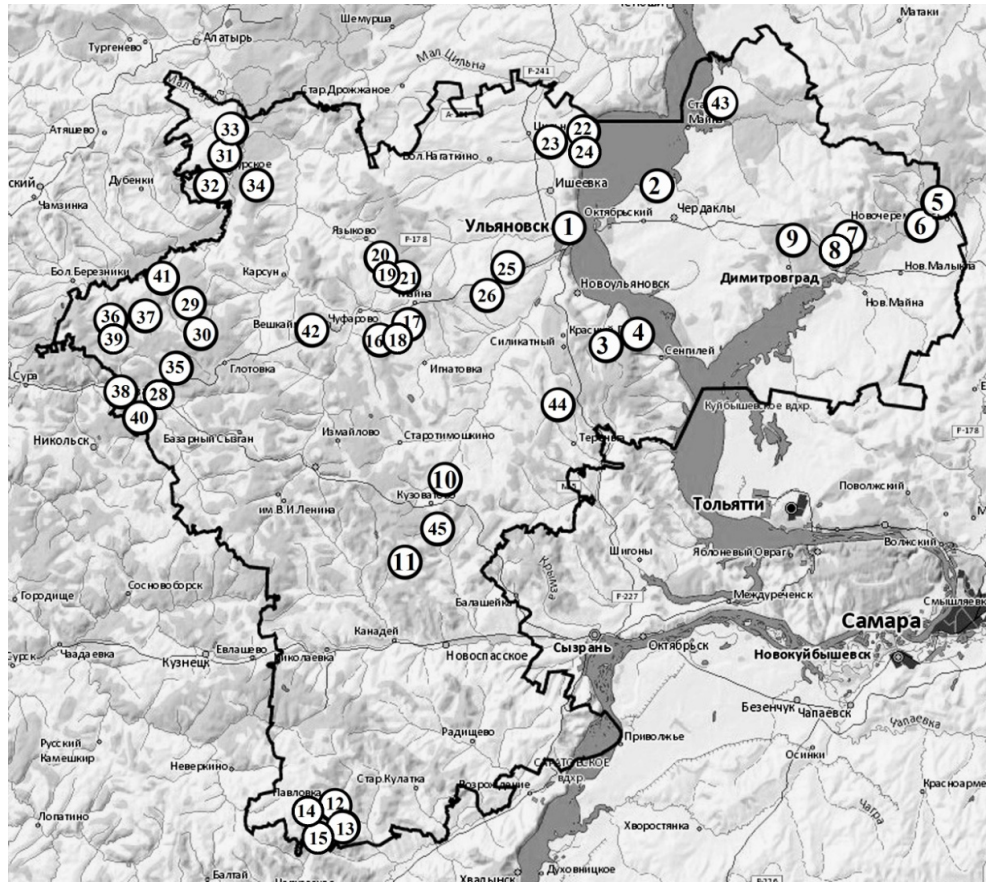


Рис. 1. Изученные сообщества мелких млекопитающих в Ульяновской области. Номера точек соответствуют номерам локалитетов в табл. 1

Таблица 1

Точки отлова мелких млекопитающих в Ульяновской области в период 2014–2015 гг.

Номер точки	Адрес	Координаты	Виды							
			<i>Myodes glareolus</i>	<i>Microtus arvalis</i>	<i>Sylvaeus uralensis</i>	<i>Apoedemus agrarius</i>	<i>Sylvaeus flavicollis</i>	<i>Mus musculus</i>	<i>Micromys minutus</i>	<i>Sorex</i> sp.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	г. Ульяновск, парк «Черное озеро»	54°17'51,1"N 48°20'39,4"E	-	-	+	+	-	-	-	-
2.	Чердаклинский район, СОК «Чайка»	54°26'46,9"N 48°42'21,9"E	+	+	+	+	+	-	-	+
3.	Сенгилеевский район, с. Шиловка, 4 км	54°00'43,7"N 48°35'20,8"E	+	+	+	+	+	-	-	-

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4.	Сенгилеевский район, с. Шиловка	54°02'52,5"N 48°37'44,5"E	-	-	+	+	-	-	-	-
5.	Новомалыклинский район, с. Новочерем- шанск, ДОЛ «Хоббит»	54°22'4"N 50°8'2"E	-	-	+	+	+	-	-	-
6.	Новомалыклинский район, с. Новочерем- шанск, 10 км	54°17'14"N 50°8'32"E	-	-	+	+	-	+	-	-
7.	Мелекесский район, ДОЛ «Факел»	54°15'27,3"N 49°44'01,2"E	+	+	-	+	-	-	-	-
8.	Мелекесский район, с. Курлан, 0,5 км	54°15'57,6"N 49°42'43,5"E	+	-	+	+	+	-	-	+
9.	Мелекесский район, с. Мулловка	54°11'11,9"N 49°23'29,6"E	+	-	+	+	-	-	-	-
10.	Кузоватовский район, р.п. Кузоватово, 7 км	53°33'36,6"N 47°45'00,5"E	+	-	+	+	-	-	-	+
11.	Кузоватовский район, с. Красная Балтия, 8 км	53°22'43,5"N 47°34'44,2"E	+	-	+	-	+	-	-	+
12.	Павловский район, с. Кадышевка, 0,5 км	52°39'56,3"N 47°14'34,2"E	-	-	+	-	-	-	-	-
13.	Павловский район, с. Шаховское, 0,5 км	52°36'48,9"N 47°13'46,6"E	+	-	+	-	-	-	-	-
14.	Павловский район, с. Шаховское, пруд	52°37'11,3"N 47°14'31,4"E	-	-	+	+	-	-	-	+
15.	Павловский район, с. Шаховское, 5 км	52°38'32,9"N 47°18'10,0"E	+	+	+	-	-	-	-	+
16.	Майнский район, с. К. Репьевка, пруд	54°3'5"N 47°27'24"E	-	-	+	-	-	-	-	+
17.	Майнский район, р.п. Майна, 5 км	54°4'26"N 47°32'60"E	+	-	+	-	-	-	-	+
18.	Майнский район, с. К. Репьевка, 5 км, лесополоса	54°4'19"N 47°32'39"E	-	+	+	-	-	-	+	+
19.	Майнский район, с. Жеребятниково, 3 км	54°8'57"N 47°33'16"E	-	+	-	-	-	-	-	+
20.	Майнский район, с. Жеребятниково, 1 км	54°9'17"N 47°32'5"E	-	+	+	-	-	-	-	+
21.	Майнский район, р.п. Майна, 7 км в сторону с. Жеребятниково	54°8'28"N 47°34'34"E	+	-	-	-	-	-	-	+
22.	Ульяновский район, санаторий «Серебряный источник»	54°35'18"N 48°24'53"E	+	-	+	+	+	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23.	Ульяновский район, с. Дворики, 0,5 км	54°34'3"N 48°19'39"E	+	-	+	+	-	-	-	+
24.	Ульяновский район, ДОЛ «Волжанка»	54°35'52"N 48°25'34"E	-	+	+	-	-	-	-	-
25.	Ульяновский район, ДОЛ Матросова	54°12'31"N 48°3'56"E	+	-	-	+	+	-	-	-
26.	Ульяновский район, с/х «Зеленая роща»	54°9'34"N 48°1'21"E	-	-	+	+	-	-	-	-
27.	Инзенский район, с. Чамзинка, 0,5 км, свалка	54°4'9"N 46°26'40"E	-	+	+	-	-	-	-	+
28.	Инзенский район, г. Инза, лес у фабрики	53°50'46"N 46°19'0"E	+	-	-	-	-	-	-	+
29.	Инзенский район, с. Проломиха	54°6'15"N 46°25'22"E	-	+	+	-	-	-	-	+
30.	Инзенский район, с. Коноплянка, 4 км	54°1'54"N 46°26'19"E	+	-	+	+	-	-	-	-
31.	Сурский район, с. Полянки, 1,5 км	54°33'45"N 46°46'42"E	+	-	+	+	+	-	-	-
32.	Сурский район, с. Болтаевка, 4 км	54°26'21"N 46°46'16"E	+	-	+	-	-	-	-	-
33.	Сурский район, с. Барышская Слобода	54°34'42"N 46°46'34"E	+	-	+	-	-	-	-	+
34.	Сурский район, с. Белый ключ	54°25'44"N 46°50'6"E	+	-	+	+	-	-	-	-
35.	Инзенский район, с. Юлово, 5 км	53°59'10"N 46°26'15"E	+	-	+	-	-	-	-	-
36.	Инзенский район, с. Валгусы	54°3'37"N 46°11'20"E	-	-	+	-	-	-	-	-
37.	Инзенский район, с. Палатово	54°3'36"N 46°16'11"E	-	-	+	-	-	-	-	-
38.	Инзенский район, п. Свет, 0,5 км	53°51'46"N 46°13'36"E	-	-	+	-	-	-	-	-
39.	Инзенский район, с. Валгусы	54°3'23"N 46°11'22"E	-	+	-	-	-	-	-	-
40.	Инзенский район, с. Оськино, лесополоса	53°49'17"N 46°17'16"E	-	-	+	-	-	-	-	-
41.	Инзенский район, с. Коржевка, лесополоса	54°10'43"N 46°21'35"E	-	-	+	-	-	-	-	-
42.	Вешкаймский район, р.п. Вешкайма	54°1'59"N 47°6'43"E	-	-	+	-	-	-	-	-
43.	Старомайнский район, биостанция УлГПУ, лес	54°38'11"N 49°0'58"E	+	+	+	-	+	-	-	-

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
44.	Тереньгульский район, с. Федькино, 0,5 км	53°46'36"N 48°20'58"E	-	+	+	-	-	-	-	-
45.	Кузоватовский район, с. Кивать	53°28'14"N 47°41'7"E	-	-	-	-	-	-	-	-

Результаты и обсуждение

За исследуемый период в отловах было зарегистрировано восемь видов насекомоядных млекопитающих и грызунов. Семейство Хомяковые (*Cricetidae* Fischer, 1817) было представлено двумя видами: рыжей (*Myodes (Clethrionomys) glareolus* Schreber, 1780) и обыкновенной (*Microtus arvalis* Pallas, 1778) полевками. Семейство Мышиные (*Muridae* Gray, 1821) было представлено пятью видами: лесной (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), желтогорлой (*Sylvaemus flavicollis* Melchior, 1834), полевой (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), домовый (*Mus musculus* Linnaeus, 1758) мышами и мышью-малюткой (*Micromys minutus*, Pallas, 1771). Семейство Землеройковые (*Soricidae* Fischer, 1817) – различными видами землероек (*Sorex* sp.). Все животные были определены до вида, исключение составили обыкновенная (*Microtus arvalis*) и восточноевропейская (*M. rossiaemeridionalis*) полевки, которых рассматривали как обыкновенную полевку в широком смысле – *M. arvalis* s.l., а также землеройки. Из 667 добытых экземпляров 481 был отобран для дальнейшего генетического анализа.

В целом во всех произведенных отловах в сообществах мелких млекопитающих преобладала рыжая полевка (*Myodes glareolus*) (ИД – 35 %, численность – 8,2 %), субдоминантой являлась лесная мышь (*Sylvaemus uralensis*) (ИД – 25 %, доля в отловах – 5,8 %). Для более детального изучения видовой структуры сообществ микромаммалий был проведен анализ по станциям. В лесных биотопах были выделены следующие станции: смешанный лес, лесополосы и кустарниковые станции; в открытых биотопах – рудерал, рудерал на сельскохозяйственных землях, рудерал на луговине, рудерал в редколесье; на пойменных участках: станции в Свяжской и станции в Сурской поймах (табл. 2).

Таблица 2

Видовой состав мелких млекопитающих
в различных станциях Ульяновской области

Стация	<i>Myodes glareolus</i>	<i>Microtus arvalis</i>	<i>Sylvaemus uralensis</i>	<i>Apodemus agrarius</i>	<i>Sylvaemus flavicollis</i>	<i>Mus musculus</i>	<i>Micromys minutus</i>	<i>Sorex</i> sp.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Смешанный лес	+	+	+	+	+	+	-	+
Лесополоса	+	+	+	-	-	-	+	+
Кустарник	-		+	+	+	+	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рудерал	+	+	+	+	+	–	–	+
Рудерал, с/х	–	+	+	+	–	–	–	+
Рудерал, редколесье	+	+	+	+	–	–	–	+
Рудерал, луговина	–	+	+	+	–	+	–	+
Сурская пойма	–	–	+	+	–	–	–	–
Свияжская пойма	+	–	+	–	–	–	–	–

Наибольшее видовое разнообразие отмечается в станции «смешанный лес» – семь видов мелких млекопитающих (рис. 2). Доминирующее положение (ИД – 53 %) занимают рыжая полевка и лесная мышь (ИД – 18 %). Единично встречаются обыкновенная полевка и домовая мышь.

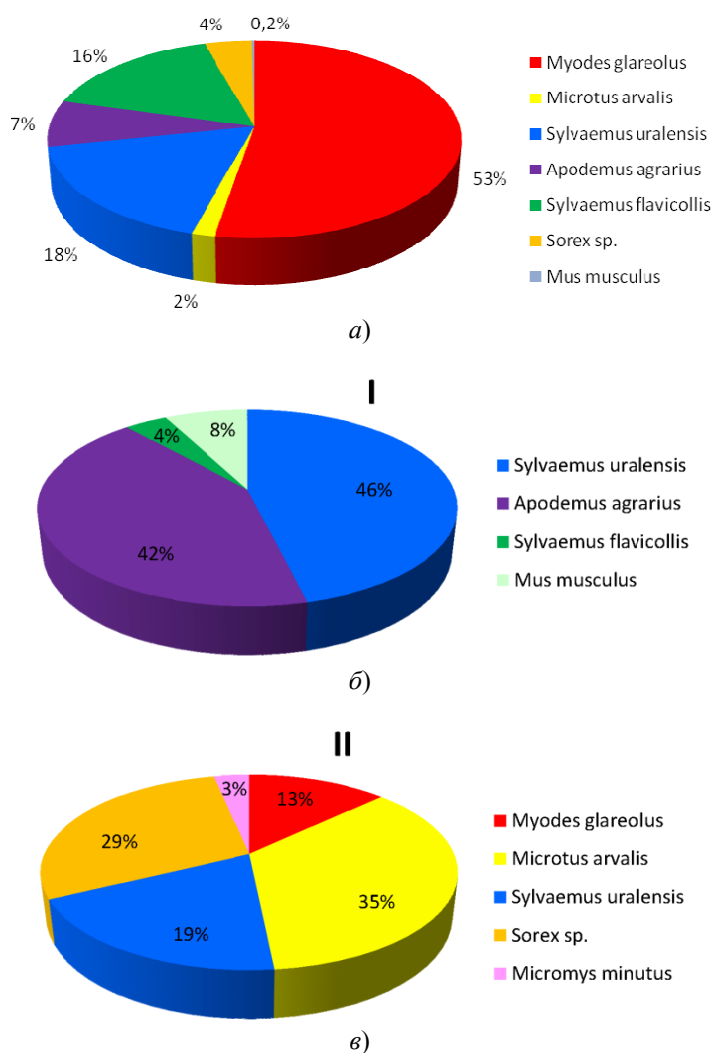


Рис. 2. Видовой состав и индексы доминирования мелких млекопитающих в станциях: а – «смешанный лес»; б – «кустарниковые станции»; в – «лесополосы»

В отловах в «кустарниковой» станции были отмечены четыре вида мелких млекопитающих. Доминировали лесная (ИД – 46 %) и полевая (ИД – 42 %) мыши. В отличие от этого в отловах в станции «лесополосы» доминирующим видом оказалась обыкновенная полевка (ИД – 35 %), а субдоминантным по встречаемости – землеройка (ИД – 29 %).

В открытых биотопах наибольшее видовое разнообразие отмечается в станции «рудерал». Было выявлено обитание шести видов мелких млекопитающих. Лесная мышь занимает доминирующее положение в станциях «рудерал» и «рудерал, с/х». В отловах станций «рудерал, луговина» и «рудерал, редколесье» доминирует землеройка. Рыжая полевка встречается единично и только в отловах в станции «рудерал» и «рудерал, редколесье». Структура сообществ по станциям открытых биотопов отображена на рис. 3. В целом все выделенные в связи с характером местообитания сообщества мышевидных грызунов хорошо дифференцированы друг от друга ($\chi^2 = 18,16 \div 174,05$ при $p < 0,0001$).

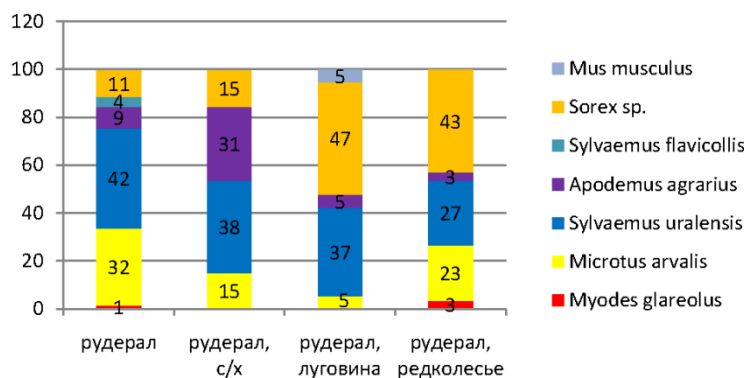


Рис. 3. Структура сообществ станций открытых биотопов

В станции с наибольшей антропогенной нагрузкой (маргинальные биотопы) видовой состав представлен четырьмя видами мелких млекопитающих. Доминирующими видами являются лесная мышь и землеройка (ИД – 33 и 41 % соответственно), доля в отловах рыжей полевки составила лишь 8 %.

В станциях околородных биотопов отмечается сравнительно небольшое видовое разнообразие. Так, в станции «Сурская пойма» видовой состав представлен рыжей полевкой (ИД – 60 %) и лесной мышью (ИД – 40 %). В станции «Свияжская пойма» доминирующее положение занимает лесная мышь (ИД – 80 %), субдоминантой является полевая мышь (ИД – 20 %).

Проведенные исследования показали, что наибольшее видовое разнообразие отмечается в станции «смешанный лес» (семь из восьми регистрируемых видов в отловах), а наименьшее – на пойменных участках (по два вида в каждой станции). Видовой состав представлен восемью видами насекомоядных и мышевидных грызунов. В целом в отловах преобладает рыжая полевка (*Myodes glareolus*) (ИД – 35 %, численность составила 8,2 %). Содоминантой ей выступает лесная мышь (*Sylvaemus uralensis*) (ИД – 25 %, доля в отловах 5,8 %), которая регистрируется во всех анализируемых станциях.

Библиографический список

1. **Кальянов, К. С.** География Ульяновской области : учеб. пособие для средних школ Ульяновской области / К. С. Кальянов, Г. З. Веснина, В. И. Лебедев. – Саратов : Приволжское книжное изд-во, 1974. – 125 с.
2. **Шемятихина, Г. Б.** Некоторые экологические особенности популяции желтогорлой мыши (*Apodemus flavicollis*, *Myridae*, *Rodentia*) на территории Ульяновской области / Г. Б. Шемятихина, А. С. Коробейникова, А. А. Нафеев // Вестник Мордовского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 188–193.
3. **Шемятихина, Г. Б.** Данные по распространению некоторых видов мышевидных грызунов на территории Ульяновской области / Г. Б. Шемятихина, А. С. Коробейникова // Природа Симбирского Поволжья : сб. науч. тр. – Ульяновск, 2009. – С. 238–244.
4. **Шемятихина, Г. Б.** Видовой состав и биотопическая приуроченность мелких млекопитающих из отрядов насекомоядные и грызуны на территории Ульяновской области / Г. Б. Шемятихина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – № 5. – С. 120–123.
5. **Шемятихина, Г. Б.** Мышевидные грызуны на территории Ульяновской области (динамика численности, соотношение видов в сообществе, роль в передаче природно-очаговых инфекций) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Шемятихина Г. Б. – Ульяновск, 2012. – 21 с.
6. **Адамович, М. К.** Видовой состав и численность мелких грызунов на территории Ульяновской области / М. К. Адамович, М. В. Корепов, Е. А. Артемьева, П. В. Миронов // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. – 2016. – № 1 (17). – URL: <http://www.vestospu.ru>
7. **Карасева, Е. В.** Методы изучения грызунов в полевых условиях / Е. В. Карасева, А. Ю. Телицына. – М. : Наука, 1996. – 227 с.
8. Динамика ареалов и современное состояние поселений наземных белых в прибрежных районах Поволжья / С. В. Титов, А. А. Кузьмин, Р. В. Наумов, О. А. Ермаков, С. С. Закс, О. В. Чернышова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – 124 с.

References

1. Kal'yanov K. S., Vesnina G. Z., Lebedev V. I. *Geografiya Ul'yanovskoy oblasti: ucheb. posobie dlya srednikh shkol Ul'yanovskoy oblasti* [Geography of Ulyanovsk region: learner's guide for secondary school of Ulyanovsk region]. Saratov: Privolzhskoe knizhnoe izd-vo, 1974, 125 p.
2. Shemyatikhina G. B., Korobeynikova A. S., Nafeev A. A. *Vestnik Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Mordovia State University]. 2010, no. 1, pp. 188–193.
3. Shemyatikhina G. B., Korobeynikova A. S. *Priroda Simbirskogo Povolzh'ya: sb. nauch. tr.* [Nature of Simbirsk Volga region: collected papers]. Ulyanovsk, 2009, pp. 238–244.
4. Shemyatikhina G. B. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2010, no. 5, pp. 120–123.
5. Shemyatikhina G. B. *Myshevidnye gryzuny na territorii Ul'yanovskoy oblasti (dinamika chislenosti, sootnoshenie vidov v soobshchestve, rol' v peredache prirodno-ochagovykh infektsiy): avtoref. dis. kand. biol. nauk* [MURINE RODENTS IN THE TERRITORY OF ULYANOVSK REGION (POPULATION CHANGES, SPECIES CORRELATION IN COMMUNITIES, ROLE IN TRANSMISSION OF FERAL NIDAL INFECTIONS): AUTHOR'S ABSTRACT OF DISSERTATION TO APPLY FOR THE DEGREE OF THE CANDIDATE OF BIOLOGICAL SCIENCES]. Ulyanovsk, 2012, 21 p.
6. Adamovich M. K., Korepov M. V., Artem'eva E. A., Mironov P. V. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Bulletin of Orenburg State Pedagogical University. Online scientific journal]. 2016, no. 1 (17). Available at: <http://www.vestospu.ru>

7. Karaseva E. V., Telitsyna A. Yu. *Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh* [Rodent study techniques in field conditions]. Moscow: Nauka, 1996, 227 p.
8. Titov S. V., Kuz'min A. A., Naumov R. V., Ermakov O. A., Zaks S. S., Chernyshova O. V. *Dinamika arealov i sovremennoe sostoyanie poseleniy nazemnykh belich'ikh v pravoberezhnykh rayonakh Povolzh'ya* [Habitat dynamics and modern condition of ground squirrel colonies in right Volga river bank regions]. Penza: Izd-vo PGU, 2015, 124 p.

Хайсарова Анна Николаевна

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

E-mail: an_stolyarova@mail.ru

Khaysarova Anna Nikolaevna

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

Болотин Александр Юрьевич

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

E-mail: sum_rock@mail.ru

Bolotin Alexander Yur'evich

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

Титов Сергей Витальевич

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии и экологии, декан факультета физико-математических и естественных наук, 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, dean of the Faculty of Physics, Mathematics and Natural Sciences, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 599.323:574.472+470.42

Хайсарова, А. Н.

Видовая структура сообществ мелких млекопитающих Ульяновской области / А. Н. Хайсарова, А. Ю. Болотин, С. В. Титов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 30–39. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-3

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ И ИНТРОДУКЦИИ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ВИДОВ РОДА *SALVIA* В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация.

Актуальность и цели. Виды рода Шалфей, естественно произрастающие в лесостепных экотопах Пензенской области, не обладают ярко выраженными лекарственными, эфирно-, жиромасличными или пряно-ароматическими свойствами. Поэтому изучение биологических особенностей и оценка успешности интродукции хозяйственно ценных видов шалфея в области, за границами их природных ареалов, весьма актуальны. Цель работы: выяснить особенности онтогенеза интродуцированных хозяйственно-ценных (*Salvia officinalis*, *S. nemorosa*, *S. sclarea*) и редкого для области (*S. verticillata*) видов шалфея в условиях Пензенской области с целью их последующего культивирования.

Материалы и методы. Онтогенез *Salvia officinalis*, *S. nemorosa*, *S. sclarea* и *S. verticillata* изучали с мая 2015 г. на территории Пензенского ботанического сада им. И. И. Спрыгина ПГУ. В течение вегетативного сезона с перерывом в 5–7 дней наблюдали смену возрастных состояний отмеченных видов, проводили биометрические измерения. Для изучения онтогенеза растения откапывались с сохранением целостности особи. Определение возрастного состояния проводили на основании комплекса качественных морфологических признаков.

Результаты. Климатические условия Пензенской области не являются оптимальными для прохождения полного онтогенеза изучаемыми видами, в суровые зимы и при недостаточном снеговом покрове они вымерзают, отрицательно сказываются на росте и развитии растений и весенние заморозки. В условиях Пензенской области для *Salvia nemorosa*, *S. sclarea* и *S. verticillata* основным способом самоподдержания является семенной, для *Salvia officinalis* – преимущественно вегетативный.

Выводы. Неблагоприятные климатические условия приводят к сокращению продолжительности онтогенеза (в онтогенезе *Salvia sclarea* наблюдается выпадение зрелых генеративных стадий) и уменьшению размеров вегетативной части растений (особенно листьев). Изучаемые хозяйственно ценные виды можно рекомендовать для выращивания в культуре, но с соблюдением условий, необходимых им для роста: легкие супесчаные почвы, хорошо прогреваемые солнцем места, защищенные от ветра. Необходима защита от вымерзания и вымокания. *Salvia nemorosa*, *S. sclarea*, *S. verticillata* можно размножать семенами, так как они имеют неплохую всхожесть. *Salvia officinalis* лучше размножать вегетативно, используя парник.

Ключевые слова: *Salvia officinalis*, *S. nemorosa*, *S. sclarea*, *S. verticillata*, онтогенез, интродукция.

N. A. Leonova, T. E. Miroshnichenko, A. V. Kuznetsova

FEATURES OF BIOLOGY AND INTRODUCTION OF ECONOMICALLY VALUABLE SPECIES OF THE GENUS *SALVIA* IN PENZA REGION

Abstract.

Background. Species of the genus *Salvia* naturally grow in the forest-steppe ecotopes of Penza region and have no pronounced medicinal, ethereal, fatty or spicy

aromatic properties. Therefore, it is quite relevant to study biological features and assess the results of introduction of economically valuable species of sage in the region beyond the boundaries of its natural habitats. The purpose of the study is to elucidate the features of the ontogenesis of introduced economically valuable species (*Salvia officinalis*, *S. nemorosa*, *S. sclarea*) and rare species (*S. verticillata*) of sage in the conditions of Penza region for the purpose of their subsequent cultivation.

Materials and methods. The ontogenesis of *Salvia officinalis*, *S. nemorosa*, *S. sclarea* and *S. verticillata* has been studied since May 2015 at Penza Botanical Garden of PSU. During the vegetative season with a break of 5–7 days the researchers were observing changes in the age status of the noted species and conducting biometric measurements. To study the ontogeny, the plants were dug out while maintaining the individual integrity. The age was determined on the basis of a complex of qualitative morphological indicators.

Results. The climatic conditions in Penza region are not optimal for complete ontogeny passage by the species: in severe winters and with insufficient snow cover they freeze; spring frosts also adversely affect the growth and development of plants. In the conditions of Penza region the main method of self-maintenance for *Salvia nemorosa*, *S. sclarea* and *S. verticillata* is seminal, for *Salvia officinalis* – mainly vegetative.

Conclusions. Adverse climatic conditions lead to reduced duration of ontogenesis (loss of mature generative stages in the ontogenesis of *Salvia sclarea*) and decreased sizes of the vegetative part of plants (especially the leaves). The economically valuable species under study can be recommended for cultivation, but it is necessary to meet the conditions for their growth: light sandy loamy soils, well warmed by the sun, places protected from the wind. It is important to protect them from freezing and soaking. *Salvia nemorosa*, *S. sclarea*, *S. verticillata* can be propagated by seeds, because they have a good germination capacity. *Salvia officinalis* is best propagated vegetatively, using greenhouses.

Key words: *Salvia officinalis*, *S. nemorosa*, *S. sclarea*, *S. verticillata*, ontogenesis, introduction.

Введение

Род Шалфей (*Salvia* L.) – крупнейший в семействе Губоцветные (*Lamiaceae*), включает около 900 видов, распространенных в Евразии, Африке и Америке. Название «шалфей» («сальвия») происходит от латинского слова “salvus”, что переводится как «здоровый, спасающий, излечивающий». Древние египтяне наделяли шалфей магической силой, а римляне использовали листья как приправу. Род Шалфей включает немало хозяйственно ценных растений: лекарственных, эфиромасличных, пряно-ароматических, медоносных и декоративных: шалфей лекарственный (*Salvia officinalis*), шалфей дубравный, или лесной (*S. nemorosa*), шалфей мускатный (*S. sclarea*).

Однако все отмеченные виды в естественных условиях в Пензенской области не произрастают. На территории Пензенской области к наиболее часто встречаемым видам относят: шалфей луговой (*S. pratensis*), шалфей степной (*S. stepposa*), шалфей сухостепной (*S. tesquicola*) [1]. Однако лекарственного применения эти виды не имеют. По данным Красной книги Пензенской области [2], к редким видам рода Шалфей в Пензенской области относятся: шалфей клейкий – *Salvia glutinosa*, шалфей поникающий – *S. nutans*, шалфей мутовчатый – *S. verticillata*.

Цель работы: выяснить особенности прохождения онтогенеза интродуцированных хозяйственно-ценных видов шалфея в условиях Пензенской области с целью их последующего культивирования.

Актуальность исследования. Виды рода Шалфей, естественно произрастающие в лесостепных экотопах Пензенской области, не обладают ярко выраженными лекарственными, эфирно-, жиромасличными или пряно-ароматическими свойствами. Поэтому изучение биологических особенностей и оценка успешности интродукции хозяйственно ценных видов шалфея в области, за границами их природных ареалов, весьма актуальны.

Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций для внедрения в практику зеленого строительства г. Пензы и области хозяйственно ценных видов рода Шалфей, а также выращивания отмеченных видов на приусадебных участках в качестве доступного лекарственного и пищевого сырья.

Научная новизна: впервые в условиях северной лесостепи выявлены особенности биоморфологической адаптации четырех представителей рода *Salvia* в условиях интродукции. Описаны онтогенез и сезонные ритмы развития шалфеев из различных биоморфологических групп, их морозоустойчивость, способность к плодоношению.

Методы исследования

Онтогенез шалфеев мутовчатого, мускатного, лекарственного, дубравного изучали с мая 2015 г. на территории Пензенского ботанического сада им. И. И. Спрыгина ПГУ. В течение вегетативного сезона с перерывом в 5–7 дней наблюдали смену возрастных состояний отмеченных видов, проводили биометрические измерения.

Для изучения онтогенеза растения откапывались с сохранением целостности особи. Определение возрастного состояния проводили на основании комплекса качественных морфологических признаков – способность к семенному размножению, различие прегенеративных и генеративных структур побегов, соотношение процессов новообразования органов и их отмирание, биометрических показателей: число и размеры отдельных органов и всей особи. Для выделения каждого возрастного состояния использовали по 10–15 особей каждого вида. Нами была принята периодизация онтогенеза Т. А. Работнова [3], дополненная А. А. Урановым [4]. При выделении стадий онтогенеза мы учитывали следующие биоморфологические показатели: 1) длина и ширина листовой пластинки; 2) длина черешка; 3) количество листьев; 4) количество побегов. Фотографировали и зарисовывали каждую стадию онтогенеза изучаемых видов.

Изучение возможности вегетативного размножения шалфея лекарственного проводилось в теплице школы № 68 (г. Пенза) и на супесчаных почвах дачного массива Светлополянского лесничества (Бессоновский район, Пензенская область) в два периода, начиная с 25 июня и до заморозков. Первые 10 стеблевых черенков шалфея лекарственного были перевезены в пластиковых бутылках в теплицу школы. Пять из них на 12 ч были помещены в раствор стимулятора корнеобразования – гетероауксина, оставшиеся

пять обработке не подвергались. 25 июня черенки были высажены в цветочные горшки. Вторые 10 стеблевых черенков шалфея лекарственного были высажены в парник без обработки гетероауксином в Светлополянском лесничестве 20 июля.

Результаты и обсуждение

Изучение особенностей онтогенеза шалфеев мускатного, мутовчатого, дубравного и лекарственного проводили на территории Пензенского ботанического сада им. И. И. Спрыгина ПГУ. В данной работе обсуждаются особенности онтогенеза двух видов – шалфеев мускатного и мутовчатого.

В онтогенезе отмеченных видов были выделены следующие периоды и возрастные состояния: 1) латентный период представлен семенами; 2) прегенеративный период – проростками, ювенильными, имматурными, виргинильными возрастными состояниями; 3) генеративный период – молодыми генеративными, средневозрастными генеративными, старыми генеративными возрастными состояниями; 4) постгенеративный период представлен сенильным возрастным состоянием.

Проростки (*p*) – однобеговые, имеют две хорошо выраженные семядоли, корешок. Активно развиваются боковые корни (рис. 1, 2).

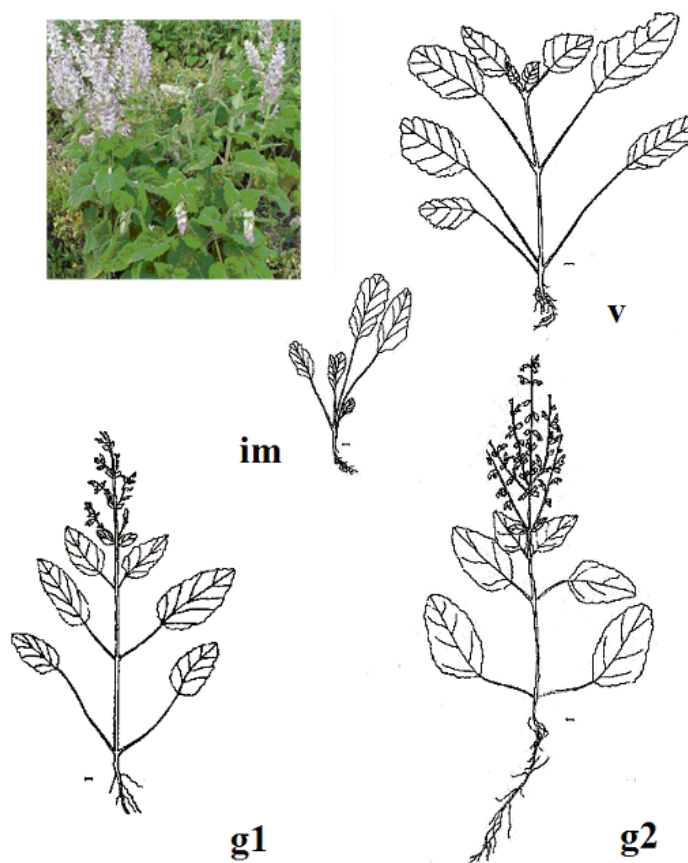


Рис. 1. Онтогенез шалфея мускатного (*Salvia sclarea*)

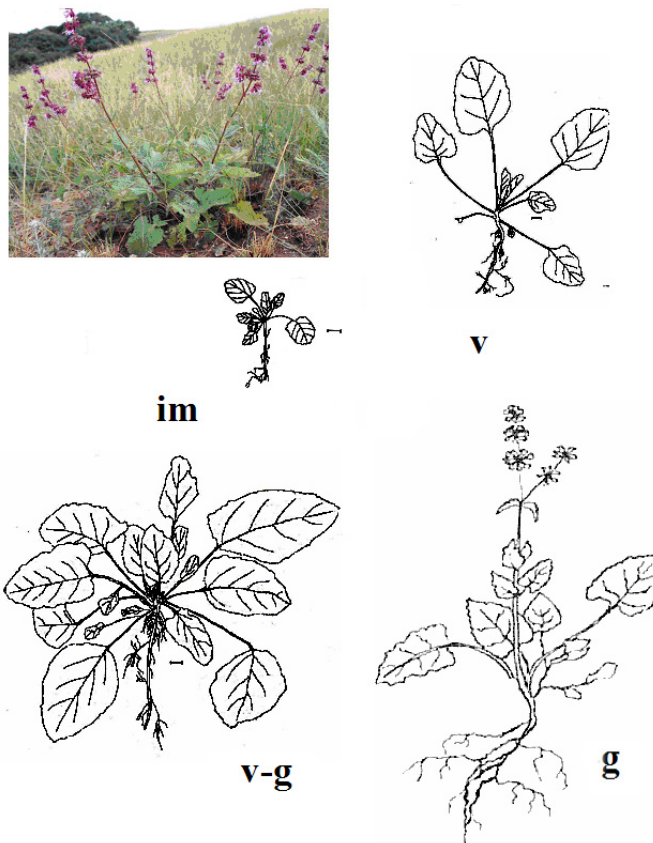


Рис. 2. Онтогенез шалфея мутовчатого (*Salvia verticillata*)

Ювенильные (*j*) растения формируют главный побег, который является розеточным. Семядольные листья сохраняются, образуются 1–2 супротивные пары настоящих листьев длиной 1,5–2 см, яйцевидной или продолговато-яйцевидной формы, с городчатым краем. Длина черешков равна или больше длины листьев (табл. 1, 2). Все части растения покрыты многочисленными длинными волосками.

Имматурные (*im*) растения имеют от четырех (шалфей мускатный) до восьми (шалфей мутовчатый) листьев, с сероватым опушением и городчатым краем. Размер листьев, как и форма, сильно варьирует: от 0,7–2,2 см в длину до 0,6–1,6 см в ширину, длина черешка – 0,6–2,1 см у шалфея мутовчатого и от 4,5–5,5 см в длину до 2,5 см в ширину, длина черешка – 3–5,5 см у шалфея мускатного (табл. 1).

Диаметр корня – до 2–3 мм. Формируется каудекс, постепенно переходящий в утолщенный многолетний корень.

У виргинильных (*v*) растений завершается формирование розеточного побега. Листовые пластинки увеличиваются в размере до 3–8 см в длину, 2–5 см в ширину, листовые черешки удлиняются до 3–6 см в длину и утолщаются.

Молодые генеративные (*g1*) растения имеют один репродуктивный побег (шалфей мускатный) либо 2–3 (шалфей мутовчатый) высотой 30–50 см, густо опушенных сероватыми волосками.

Таблица 1

Биоморфологические показатели растений шалфея мутовчатого

Возрастное состояние	Количество листьев	Длина листа			Ширина листа			Длина черешка		
		1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го
<i>it</i>	8/8	0,7 ± 0,4/2,5*	1,5 ± 0,4	2,2 ± 0,3/5	0,6 ± 0,2/0,5	0,8 ± 0,1	1,6 ± 0,1/3	2,1 ± 0,2/3	1 ± 0,1	0,6 ± 0,2/4
<i>v</i>	8	3 ± 0,3/4	5 ± 0,4	8 ± 0,3/13	2 ± 0,3/3	4 ± 0,2	5 ± 0,1/10	3 ± 0,2/4	6 ± 0,2	3,3 ± 0,2/13
<i>g</i>	18	3 ± 0,5	7 ± 0,4	8 ± 0,3	2 ± 0,2	6 ± 0,1	5 ± 0,2	4 ± 0,2	7 ± 0,2	4 ± 0,1

Примечание. *В знаменателе приведены данные Е. М. Олейниковой, приведенные для Средней России.

Таблица 2

Биоморфологические показатели растений шалфея мускатного

Возрастное состояние	Количество листьев	Длина листа			Ширина листа			Длина черешка		
		1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го
<i>j</i>	2	1 ± 0,4/1,5	–	–	0,5 ± 0,2	–	–	1,5 ± 0,1	–	–
<i>it</i>	4	4,5 ± 0,3/5	5,5 ± 0,2	–	2,5 ± 0,2/3	2,5 ± 0,1	–	5,5 ± 0,3/6	3,5 ± 0,2	–
<i>v</i>	10	5 ± 0,3	5,5 ± 0,3	8,2 ± 0,2	3 ± 0,2	3,5 ± 0,2	5,2 ± 0,3	8 ± 0,2	9,2 ± 0,4	9 ± 0,2
<i>g</i>	12	6 ± 0,4	11 ± 0,3	10 ± 0,1	3 ± 0,2	5,2 ± 0,3	4,5 ± 0,1	9,5 ± 0,3	10,5 ± 0,2	10,3 ± 0,1

Примечание. *В знаменателе приведены данные Е. В. Байковой, приведенные для лесостепной зоны Западной Сибири.

Средневозрастные генеративные (g2) растения часто имеют до 3–5 цветоносных побегов (шалфей мутовчатый) высотой до 60–70 см.

Старые генеративные (g3) растения характеризуются завершением цветения. Увядают и отмирают крупные стеблевые листья.

Сенильные особи обнаружены не были.

Сравнительный анализ биоморфологических показателей отмеченных видов шалфеев с аналогичными данными других авторов [5, 6] показал, что в условиях Пензенской области наблюдается уменьшение размеров вегетативной части растений, прежде всего, листьев. Так, у имматурных растений шалфея мутовчатого (см. табл. 1) длина 1-го и 3-го листьев меньше в 3 и 2,5 раза соответственно, ширина 3-го листа – в 2 раза, длина черешков также значительно ниже. Сходные тенденции прослеживаются и у растений виргинильного возрастного состояния (см. табл. 1).

Растения шалфея мускатного разных возрастных состояний также имеют более мелкие размеры листьев, но отличия в размерах не такие существенные (см. табл. 2). Следует отметить, что все растения мускатного шалфея в Пензенском ботаническом саду уже 20 июля отцвели и пожелтели. Это свидетельствует о том, что температурный режим области не является оптимальным для прохождения полного онтогенеза вида.

Растения шалфея лекарственного в условиях Пензенской области почти ежегодно подвергаются весенним заморозкам или полностью вымерзают, что не позволяет им формировать семена. Поэтому для изучения возможности размножения шалфея лекарственного вегетативно 10 стеблевых черенков (подготовленных с сохранившихся после перезимовки растений) были разделены на две группы по пять особей и высажены в цветочные горшки 25 июня. Черенки первой группы на 12 ч были помещены в раствор стимулятора корнеобразования – гетероауксина, оставшиеся пять обработке не подвергались («контроль»). Для увеличения влажности воздуха и более успешного укоренения горшки были накрыты стеклянным колпаком (рис. 3). Опыт проводился в хорошо освещаемом помещении.



Рис. 3. Черенки с гетероауксином и высаженные черенки без стимуляторов корнеобразования

В период укоренения листья черенков начали скручиваться и местами темнеть. В результате в каждой группе (обработанной стимулятором роста и контрольной) из пяти черенков погибло три. Судя по всему, к гибели привело

загнивание черенков в силу чрезмерного увлажнения и плохой аэрации почвы. За весь период опыта (25 июня – 3 августа) земля оставалась влажной и не требовала полива из-за стеклянного колпака. Однако это же и ухудшило газообмен и аэрацию почвы. 20 июля еще 10 черенков шалфея лекарственного (10 штук) были сразу высажены в грунт (рис. 4) без обработки гетероауксином (район Светлополянского лесничества). Для лучшего укоренения для них был сооружен парник (две металлические дуги и укрывной материал). Два раза в неделю земля поливалась и проветривалась при отсутствии прямых солнечных лучей. К концу вегетационного периода стало ясно, что приживаемость черенков при таком способе оказалась намного выше – из 10 выжило восемь (80 %).



Рис. 4. Высадка черенков в парник

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что при укоренении черенков шалфея лекарственного создание правильного микроклимата гораздо важнее обработки стимуляторами роста.

Выводы

1. Род Шалфей включает немало хозяйственно ценных растений: лекарственных, эфиромасличных, пряно-ароматических, медоносных и декоративных. Среди них шалфеи дубравный, мускатный, лекарственный – занимают особое положение: они являются общеизвестными и доступными лекарственными растениями и пряностями. Шалфей мутовчатый – редкое растение, занесенное в Красную книгу Пензенской области.

2. Шалфеи дубравный, мускатный, лекарственный являются теплолюбивыми растениями. При этом засухоустойчивы, не выносят избытка влаги. Климатические условия Пензенской области не являются оптимальными для прохождения полного онтогенеза изучаемыми видами, в суровые зимы и при недостаточном снеговом покрове они вымерзают, отрицательно сказываются на росте и развитии растений и весенние заморозки.

3. Климатические условия приводят к сокращению продолжительности онтогенеза (в онтогенезе шалфея мускатного наблюдается выпадение зрелых

генеративных стадий) и уменьшению размеров вегетативной части растений (особенно листьев).

4. В условиях Пензенской области для шалфеев мускатного, дубравного и мутовчатого основным способом самоподдержания является семенной, для шалфея лекарственного – преимущественно вегетативный.

5. Шалфеи дубравный, мускатный, мутовчатый можно размножить семенами, так как они имеют неплохую всхожесть. Шалфей лекарственный лучше размножить вегетативно, используя парник.

6. Изучаемые хозяйственно ценные виды можно рекомендовать для выращивания в культуре, но с соблюдением условий, необходимых им для роста: легкие супесчаные почвы, хорошо прогреваемые солнцем места, защищенные от ветра. Необходима защита от вымерзания и вымокания.

Библиографический список

1. **Солянов, А. А.** Флора Пензенской области / А. А. Солянов. – Пенза, 2001. – 310 с.
2. Красная книга Пензенской области. Т. 1: Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения / А. И. Иванов, Л. А. Новикова, А. А. Чистякова, Т. В. Горбушина, В. М. Васюков, Н. А. Леонова, П. И. Заплатин, Т. Б. Силаева, С. В. Саксонов, Н. С. Раков, С. А. Сенатор, Е. Ю. Истомина, Е. В. Варгот. – 2-е изд. – Пенза, 2013. – 300 с.
3. **Работнов, Т. А.** Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии / Т. А. Работнов // Проблемы ботаники. – М.; Л.: АН СССР, 1950. – Вып. 1. – С. 465–483.
4. **Уранов, А. А.** Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / А. А. Уранов // Биологические науки. – 1975. – № 2. – С. 7–34.
5. **Байкова, Е. В.** Биоморфологические особенности некоторых видов рода Шалфей (*Salvia* L.) в условиях лесостепной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Байкова Е. В. – Новосибирск, 1995. – 16 с.
6. **Олейникова, Е. М.** Онторморфогенез и структура ценопопуляций шалфея мутовчатого / Е. М. Олейникова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 4 (35). – С. 61–67.

References

1. Solyanov A. A. *Flora Penzenskoy oblasti* [Flora of Penza region]. Penza, 2001, 310 p.
2. Ivanov A. I., Novikova L. A., Chistyakova A. A., Gorbushina T. V., Vasyukov V. M., Leonova N. A., Zaplatin P. I., Silaeva T. B., Saksonov S. V., Rakov N. S., Senator S. A., Istomina E. Yu., Vargot E. V. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 1: Griby, lishayniki, mkhi, sosudistye rasteniya* [The Red Book of Penza region. Vol. 1: Fungi, lichens, mosses, vascular plants]. 2nd ed. Penza, 2013, 300 p.
3. Rabotnov T. A. *Problemy botaniki* [Problems of botany]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1950, iss. 1, pp. 465–483.
4. Uranov A. A. *Biologicheskie nauki* [Biological sciences]. 1975, no. 2, pp. 7–34.
5. Baykova E. V. *Biomorfologicheskie osobennosti nekotorykh vidov roda Shalfey (Salvia L.) v usloviyakh lesostepnoy zony Zapadnoy Sibiri: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Biomorphological features of some species of the genus *Salvia* L. in conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Novosibirsk, 1995, 16 p.
6. Oleynikova E. M. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University]. 2012, iss. 4 (35), pp. 61–67.

Леонова Наталья Алексеевна

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

E-mail: na_leonova@mail.ru

Leonova Natal'ya Alekseevna

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

Мирошниченко Татьяна Евгеньевна

учитель биологии, средняя
общеобразовательная школа
с углубленным изучением
информатики № 68 (Россия,
г. Пенза, пр. Строителей, 140)

E-mail: na_leonova@mail.ru

Miroshnichenko Tat'yana Evgen'evna

Biology teacher, secondary school № 68
with advanced computer studies
(140 Stroiteley avenue, Penza, Russia)

Кузнецова Анна Викторовна

кандидат химических наук, доцент,
кафедра общей и клинической
фармакологии, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: pgu_farm@mail.ru

Kuznetsova Anna Viktorovna

Candidate of chemical sciences, associate
professor, sub-department of general
and clinical pharmacology, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

УДК 581.5

Леонова, Н. А.

**Особенности биологии и интродукции хозяйственно ценных видов
рода *Salvia* в Пензенской области** / Н. А. Леонова, Т. Е. Мирошниченко,
А. В. Кузнецова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 40–49. DOI: 10.21685/2307-9150-
2017-3-4

**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ
КРАПЧАТОГО СУСЛИКА (*SPERMOPHILUS SUSLICUS* GÜLD.)
В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА
МИКРОСАТЕЛЛИТНОЙ ДНК¹**

Аннотация.

Актуальность и цели. Изучение популяционного полиморфизма у видов животных, ареалы которых подвержены частым перестройкам, является одной из актуальных задач популяционной экологии. Особенно такие исследования необходимы при изучении ареалов видов, резко сокращающих свою численность или находящихся в долговременном депрессивном состоянии. Целью исследования было изучение уровня генетического полиморфизма особей в современных популяциях крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld.), обнаруженных на территории Среднего Поволжья, с использованием молекулярно-генетических маркеров микросателлитной ДНК.

Материалы и методы. Была исследована генетическая структура 28 популяций крапчатого суслика, обнаруженных на территории Среднего Поволжья. Обобщенная выборка составила 131 особь. Были использованы специфические для сусликов праймеры, применяемые для амплификации фрагментов, содержащих микросателлитные повторы в трех локусах STR1, Ssu16, Ssu17. Генетическую структуру популяций описывали при использовании программы Arlequin ver. 3.1 и пакет программ Statistica for Windows.

Результаты. В популяциях крапчатого суслика на территории Среднего Поволжья для локуса STR1 было выявлено 10 аллелей, для локуса Ssu16 – 10 аллелей и для локуса Ssu17 – 9 аллелей. Были получены индексы внутри-популяционной стандартной и молекулярной изменчивости по трем исследованным маркерам. Среднее значение индекса фиксации гамет (F_{ST}) составило 0,250. Анализ полученных характеристик генетической структуры популяций показал, что в популяциях крапчатого суслика наблюдаются несоответствие ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности и потеря аллелей на локус. Исследования генетической структуры популяций крапчатого суслика по индексу фиксации гамет выявил высокий уровень генетической разнородности локальных популяций *S. suslicus*. При этом индексы фиксации гамет внутри локальных популяций и внутри метапопуляций оказались почти в 2 раза ниже, чем индексы фиксации гаплотипов между локальными популяциями из различных метапопуляций.

Выводы. Анализ данных по генетической структуре популяций крапчатого суслика, полученных по микросателлитным данным, показал, что в популяциях крапчатого суслика наблюдается проявление деструктивных популяционных процессов, выражающихся в несоответствии ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности популяций и потере аллелей на локус (прохождение популяциями стадии «бутылочного горлышка»). Анализ индексов фиксации гамет, так и индексов «дельта-мю квадрат», характеризующий генетические дистанции между популяциями, подтверждает достоверность предложенной метапопуляционной модели восточной части ареала крапчатого суслика.

Ключевые слова: крапчатый суслик, микросателлитная ДНК, Среднее Поволжье.

¹ Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-60059 мол_а_дк.

**THE GENETIC STRUCTURE OF SPOTTED GROUND SQUIRREL
POPULATIONS (*SPERMOPHILUS SUSLICUS* GÜLD.)
IN MIDDLE VOLGA REGION ACCORDING
TO A MICROSATELLITE DNA ANALYSIS**

Abstract.

Background. Studying of population polymorphism in wide spread animal species was and still remains one of topical tasks of population ecology. Such researches are especially necessary when studying habitats of species rapidly decreasing in numbers or having a long-term depressed condition. The goal of the research work is to study genetic polymorphism levels of specimens in living populations of the spotted round squirrel (*Spermophilus suslicus* Güld.), found in the territory of Middle Volga Region, using microsatellite DNA markers.

Materials and methods. The genetic structure of 28 local spotted ground squirrel populations in the territory of Middle Volga Region was studied. The total sample size – 131 individuals. The authors used primers specific for squirrels applied to amplify fragments containing microsatellite repeats in three loci STR1, Ssu16, Ssu17. The populations' genetic structure was described using Arlequin ver. 3.1 and Statistica for Windows software.

Results. Considering the spotted ground squirrel populations the author detected 10 alleles for locus STR1, 10 alleles for locus Ssu16 and 9 alleles for locus Ssu17. The researchers also obtained the indices of standard and molecular intrapopulation variability. The average value of the fixation index of gametes (F_{ST}) amounted to 0,250. The populations of the speckled ground squirrel featured discrepancy between expected and observed heterozygosity and loss of alleles per locus. The fixation index of gametes revealed a high level of genetic heterogeneity of the local populations of *S. suslicus*. The gametes fixing indices within local populations and within metapopulations were almost 2 times lower than the haplotypes fixing indices between local populations from various metapopulations.

Conclusions. When examining the spotted ground squirrel populations the authors noticed manifestation of destructive population processes expressed in discrepancy between expected and observed heterozygosity of populations and loss of alleles per locus (when populations pass the “bottleneck” stage). The analysis of both gametes fixing and “ $\Delta \mu^2$ ” indices, characterizing genetic distances between populations, confirmed the proposed metapopulation model of the eastern part of the spotted ground squirrel habitat to be reliable.

Key words: spotted ground squirrel, microsatellite DNA, Middle Volga Region.

Изучение популяционного полиморфизма у видов животных, ареалы которых подвержены частым перестройкам, является одной из актуальных задач популяционной экологии [1]. Изучение динамики ареала во времени и пространстве с привлечением данных о генетической структуре популяций, кроме выявления причин таких ареалогических изменений, позволяет составить прогноз о расширении или сужении области обитания таких видов в конкретном регионе. Особенно это важно при исследовании ареалов видов, резко сокращающих свою численность или находящихся в долговременном депрессивном состоянии и требующих проведения охранных мероприятий [2].

Именно к таким видам млекопитающих относится крапчатый суслик (*Spermophilus suslicus* Güld.), включенный в Красные книги большинства субъектов Поволжского региона [3–7], а также в Красную книгу Международного союза охраны природы (МСОП) (<http://www.iucnredlist.org/details/20492/0>).

Целью исследования было изучение уровня генетического полиморфизма особей в современных популяциях крапчатого суслика, обнаруженных на территории Среднего Поволжья, с использованием молекулярно-генетических маркеров микросателлитной ДНК.

Материалы и методы

Материал для работы был собран в ходе проведения экспедиционных работ в период 2014–2017 гг. в Среднем Поволжье. Была исследована генетическая структура 28 популяций крапчатого суслика, обнаруженных в регионе исследований. Обобщенная выборка составила 131 особь (табл. 1). В молекулярно-генетическом анализе были использованы выборки всех географически разобщенных популяций, а в статистическую обработку полученных данных были вовлечены только те из них, у которых величина выборки превышала три особи ($n = 17$).

Молекулярно-генетические исследования проведены на базе лаборатории молекулярной экологии и систематики животных кафедры зоологии и экологии Пензенского государственного университета.

ДНК выделяли из образцов печени или когтевых фаланг пальцев, зафиксированных в этаноле (96 %). Предварительно гомогенизовав, небольшие кусочки ткани (около 50 мг) инкубировали в течение 6–12 ч в смеси, включающей 0,5 мл буфера STE, 50 мкл 10 %-го додецилсульфата натрия (SDS) и 17 мкл протеиназы К, при 50 °С с последующей фенольной экстракцией [8].

Полимеразную цепную реакцию (PCR) проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 50 мМ Трис-НСl (рН 8,9), 20 мМ сульфата аммония, 20 мкМ ЭДТА, 170 мкг/мл бычьего сывороточного альбумина (BSA), смесь дезоксинуклеозидтрифосфатов (200 мкМ каждого из них), 2 мМ хлористого магния, 0,6 мкМ каждого из праймеров, 0,1–0,2 мкг ДНК и 2 ед. акт. Taq-полимеразы. Реакцию проводили при условиях – 94 °С – 30 с, 58–60 °С – 30 с (отжиг), 72 °С – 30 с (30 циклов). В работе были использованы специфические для сусликов праймеры, применяемые для изучения генетической структуры популяций (табл. 2). В последствие полученные таким образом PCR-продукты были подвергнуты электрофоретическому разделению в 8 %-м полиакриламидном геле (ПААГ) с целью выявления аллельного состава генотипа для каждого образца. Для уточнения идентификации конкретных микросателлитных аллелей некоторые из маркерных образцов были просеквенированы (STR1 – $n = 135$; Ssu16 – $n = 91$; Ssu17 – $n = 130$).

Генетическую структуру популяций описывали при использовании программы *Arlequin* ver. 3.1, при использовании которой также вычисляли значения иерархических коэффициентов F , с помощью которых выявляли метапопуляционную структуру восточной части ареала крапчатого суслика.

Достоверность различий параметрических показателей оценивалась по критерию Стьюдента при пороговом значении $p < 0,05$, а непараметрических – с помощью χ^2 -теста. При обработке многомерных показателей был использован пакет программ Statistica for Windows.

Таблица 1

Исследования на аллельное разнообразие микросателлитных маркеров
популяции крапчатого суслика в восточной части ареала

Популяция	N	Адрес поселения	Выявленное аллельное разнообразие по трем микросателлитным маркерам*		
			STR1	Ssul16	Ssul17
1	2	3	4	5	6
Ульяновская область					
1. Беловодье	3	Окрестности с. Беловодье, Карсунский район, 54°15' с.ш., 46°39' в.д.	–	3 алл. 7, 8, 12	–
2. Белозерье	2	Окрестности с. Белозерье, Карсунский район, 54°16' с.ш., 47°16' в.д.	–	3 алл. 7, 8, 15	1 алл. 13
3. Бестужевка	2	Окрестности с. Бестужевка, Кузоватовский район, 53°44' с.ш., 47°38' в.д.	2 алл. 11, 14	1 алл. 8	4 алл. 7, 12, 13, 21
4. Волчанка	3	Окрестности с. Волчанка, Радищевский район, 53°00' с.ш., 47°10' в.д.	3 алл. 10, 14, 16	3 алл. 7, 8, 17	2 алл. 10, 13
5. Вязовка	4	Окрестности с. Вязовка, Радищевский район, 52°54' с.ш., 48°22' в.д.	3 алл. 9, 13, 14	5 алл. 8, 10, 13, 14, 15	4 алл. 7, 9, 10, 12
6. Загоскино	3	Окрестности с. Загоскино, Майнский район, 53°53' с.ш., 47°38' в.д.	3 алл. 8, 9, 13	3 алл. 8, 9, 13	2 алл. 7, 12
7. Зыково	4	Окрестности с. Зыково, Новоспасский район, 53°04' с.ш., 47°46' в.д.	–	4 алл. 7, 8, 10, 12	–
8. Красноборск	5	Окрестности пос. Красноборск, 53°45' с.ш., 48°02' в.д.	–	3 алл. 7, 8, 13	1 алл. 13
9. Новое Потгорелово	5	Окрестности с. Новое Потгорелово, Вешкаймский район, 54°09' с.ш., 46°50' в.д.	–	3 алл. 7, 8, 13	1 алл. 13
10. Русские Горенки	8	Окрестности с. Русские Горенки, Карсунский район, 54°15' с.ш., 46°44' в.д.	4 алл. 10, 11, 15, 17	3 алл. 8, 9, 15	4 алл. 9, 11, 12, 13
11. Сарым	2	Ур. Сарым, Теренгульский район, 53°36' с.ш., 48°19' в.д.	2 алл. 14, 17	2 алл. 8, 9	2 алл. 7, 11

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
12. Смышляевка	14	Окрестности с. Смышляевка, Кузоватовский район, 53°45' с.ш., 47°44' в.д.	6 алл. 9, 11, 13, 14, 15, 16	3 алл. 8, 9, 15	5 алл. 7, 11, 12, 13, 21
13. Соловчиха	2	Окрестности с. Соловчиха, Радищевский район, 52°58' с.ш., 47°48' в.д.	2 алл. 9, 13	3 алл. 8, 9, 10	3 алл. 7, 10, 13
14. Студенец	2	Окрестности ст. Студенец, Кузоватовский район, 53°25' с.ш., 47°58' в.д.	4 алл. 10, 11, 12, 13	3 алл. 8, 9, 18	4 алл. 7, 8, 10, 15
15. Сухаревка	3	Окрестности с. Сухаревка, Майнский район, 53°58' с.ш., 47°47' в.д.	3 алл. 11, 12, 14	2 алл. 8, 9	2 алл. 7, 13
16. Сухая Терешка	1	Окрестности с. Сухая Терешка, Николаевский район, 52°59' с.ш., 47°29' в.д.	-	2 алл. 7, 13	-
17. Тимеряны	11	Окрестности с. Нижние Тимеряны, Цивильский район, 54°33' с.ш., 47°48' в.д.	3 алл. 15, 16, 17	4 алл. 8, 9, 12, 15	5 алл. 7, 10, 11, 12, 13
18. Трубетчина	7	Окрестности с. Трубетчина, Кузоватовский район, 53°38' с.ш., 47°52' в.д.	-	3 алл. 7, 8, 13	1 алл. 13
19. Чихан-гора	17	Окрестности с. Куроедовские Выселки, Николаевский район, 53°06' с.ш., 47°21' в.д.	6 алл. 10, 12, 13, 15, 16, 17	6 алл. 8, 9, 10, 12, 13, 14	5 алл. 7, 9, 11, 12, 13
20. Урено-Карлинское	6	Окрестности с. Урено-Карлинское, Карсунский район, 54°15' с.ш., 47°15' в.д.	3 алл. 12, 13, 14	4 алл. 8, 9, 10, 15	4 алл. 8, 9, 11, 13
21. Чувашская Кулатка	1	Окрестности с. Чувашская Кулатка, Старокулатский район, 52°43' с.ш., 47°43' в.д.	-	2 алл. 7, 12	-
22. Шевченко	5	Окрестности пос. Шевченко, Радищевский район, 52°53' с.ш., 48°11' в.д.	4 алл. 11, 13, 14, 15	5 алл. 8, 9, 10, 17, 18	5 алл. 7, 8, 9, 12, 13
23. Элита	6	Окрестности пос. Элита, Сурский район, 54°28' с.ш., 46°51' в.д.	3 алл. 12, 13, 16	2 алл. 8, 9	3 алл. 8, 11, 13
Чувашская Республика					
24. Батырево	9	Окрестности пос. Батырево, Батыревский район, 55°04' с.ш., 47°41' в.д.	6 алл. 8, 9, 10, 11, 12, 13	2 алл. 8, 9	3 алл. 9, 11, 13
25. Цивильск	2	Окрестности пос. Молодежный, Цивильский район, 55°50' с.ш., 47°24' в.д.	1 алл. 9	1 алл. 7	1 алл. 13

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Республика Мордовия					
26. Алашеевка	2	Окрестности с. Алашеевка, Атяшевский район, 54°38' с.ш., 46°14' в.д.	1 алл. 9	1 алл. 10	1 алл. 10
Саратовская область					
27. Калининск	2	Окрестности пос. Соцземледельческий, Калининский район, 51°29' с.ш., 44°16' в.д.	–	2 алл. 7, 8	1 алл. 13
Всего:	119		10 алл. 8–17	10 алл. 7–10, 12–15, 17, 18	9 алл. 7–9, 10–13, 15, 21

Примечание. * В числителе указано число аллелей, обнаруженных в популяции, в знаменателе – номера аллелей, соответствующие числу микросателлитных повторов.

Праймеры, использованные для анализа микросателлитной ДНК (STR-повторы) в популяциях крапчатого суслика

Система праймеров	T° _{отж}	Последовательность 5' - 3'	Микросателлитный повтор
STR1 D/R	62°	D: GGAGGAGGCTCATGAGACAG R: СТАААААТАААГТСТАТТААГГСТТ	(GAAA) _n (AGGG) _m
Ssu16 D/R*	58°	D: AACCCCTTCTGTTTCCCTTCA R: TGGGGTTAGCAAATGATGGT	(GAT) _n
Ssu17 D/R*	58°	D: CCCAAAAGGGAACAAGCTA R: TGATTCAAAGATGCAAACATCC	(GAT) _n

Примечание. * по Gondek et al., 2006 [9].

Результаты и обсуждение

Анализ частот аллелей изученных микросателлитных маркеров позволил получить характеристику внутривидовой генетической структуры. При рассмотрении аллельного разнообразия в отдельных популяциях было выявлено закономерное его снижение с юга на север по средним показателям числа аллелей с 5,6 до 3,3 (рис. 1). В целом в популяциях крапчатого суслика на территории Среднего Поволжья для локуса STR1 было выявлено 10 аллелей (в соответствии с числом повторов – 8–17), для локуса Ssu16 – 10 аллелей (7–10, 12–15, 17, 18) и для локуса Ssu17 – 9 аллелей (7–9, 10–13, 15, 21).

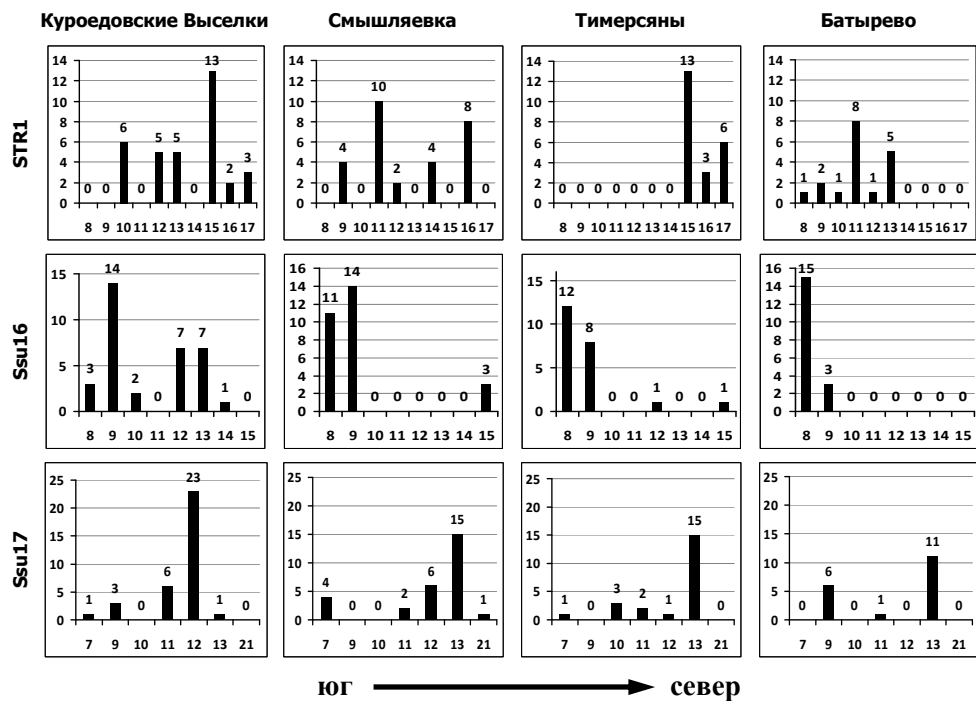


Рис. 1. Аллельные спектры микросателлитных локусов (STR1, Ssu16, Ssu17) в различных географических популяциях крапчатого суслика в Среднем Поволжье

Для популяций, размер выборок из которых превышает три особи, были получены индексы внутривнутрипопуляционной стандартной и молекулярной изменчивости по трем исследованным маркерам Ssu16, Ssu17, STR1 (табл. 3). Среднее число аллелей на локус (N_a) варьирует от 2,67 до 5,67 ($3,96 \pm 0,30$, $n = 8$), ожидаемая гетерозиготность (H_{exp}) изменяется от 0,722 до 0,333, наблюдаемая гетерозиготность (H_{obs}) варьирует в том же диапазоне от 0,798 до 0,569, средний индекс аллельных «потерь» Garza-Williams на локус ($G-W$) изменяется от 0,867 до 0,444 ($0,675 \pm 0,048$, $n = 8$), ожидаемая гомозиготность по локусу (θ_H) варьирует от 2,597 до 1,538 ($1,834 \pm 0,121$, $n = 8$), среднее генное разнообразие по локусу (GD) изменяется от $0,798 \pm 0,551$ до $0,569 \pm 0,385$ и среднее значение индекса фиксации гамет (F_{ST}) = 0,250. Анализ полученных характеристик генетической структуры популяций показал, что в популяциях крапчатого суслика, в которых численность еще превышает эффективную (0,15 ос/га) [10], наблюдается проявление деструктивных популяционных процессов. Прежде всего это выражается в нарушении действия автономных генетических процессов (несоответствие ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности – популяции «Элита», «Смышляевка», «Вязовка») и потере аллелей на локус (прохождение стадии «бутылочного горлышка» – популяции «Смышляевка», «Вязовка», «Русские Горенки»). Основными причинами возникновения такой популяционной ситуации являются усиливающаяся фрагментация среды на фоне естественного снижения численности, а также снижение интенсивности обмена генетическим материалом между локальными популяциями вследствие снижения миграционной активности вида в изучаемом регионе.

Таблица 3

Внутрипопуляционные характеристики показателей генетической структуры популяций крапчатого суслика в восточной части ареала, полученные в ходе анализа трех микросателлитных локусов STR1, Ssu16, Ssu17

Популяция	N	Индексы стандартной изменчивости					Индексы молекулярной изменчивости	
		N_a	H_{obs}	H_{exp}	R	G-W	θ_H	GD
Чихан-гора	17	5,667	0,549	0,688	6,333	0,774	1,830	$0,688 \pm 0,439$
Элита	6	2,667	0,333	0,626	3,333	0,700	1,636	$0,626 \pm 0,433$
Урено-Карлинское	6	3,667	0,722	0,717	4,667	0,722	1,965	$0,717 \pm 0,482$
Батырево	9	3,667	0,556	0,571	3,333	0,867	1,541	$0,571 \pm 0,391$
Тимерсяны	11	4,000	0,485	0,569	5,000	0,738	1,538	$0,569 \pm 0,385$
Смышляевка	14	4,333	0,476	0,681	9,333	0,444	1,801	$0,681 \pm 0,438$
Вязовка	4	4,000	0,500	0,798	5,667	0,597	2,597	$0,798 \pm 0,551$
Русские Горенки	6	3,667	0,500	0,672	6,000	0,558	1,767	$0,672 \pm 0,457$

Примечание. N – размер выборки; N_a – среднее число аллелей на локус; G-W индекс – средний индекс аллельных «потерь» Garza-Williams на локус (в таблице выделены данные по популяциям, прошедшим через «бутылочное горлышко»); H_{exp} – ожидаемая гетерозиготность; H_{obs} – наблюдаемая гетерозиготность (в таблице

выделены данные по популяциям, в которых наблюдаются достоверные отличия ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности), R (allelic range) – диапазон (разброс) аллелей, θ_H – ожидаемая гомозиготность; GD (average gene diversity over loci) – среднее генное разнообразие по локусу.

С использованием F -статистики была протестирована полученная при выполнении ареалогических исследований метапопуляционная модель ареала крапчатого суслика: I – Южная (Сызранская), II – Восточная (Приволжская), III – Центральная, IV – Северная (Урено-Карлинское, Тимерсяны), V – Северо-Западная (Присурская) (рис. 2) [11].

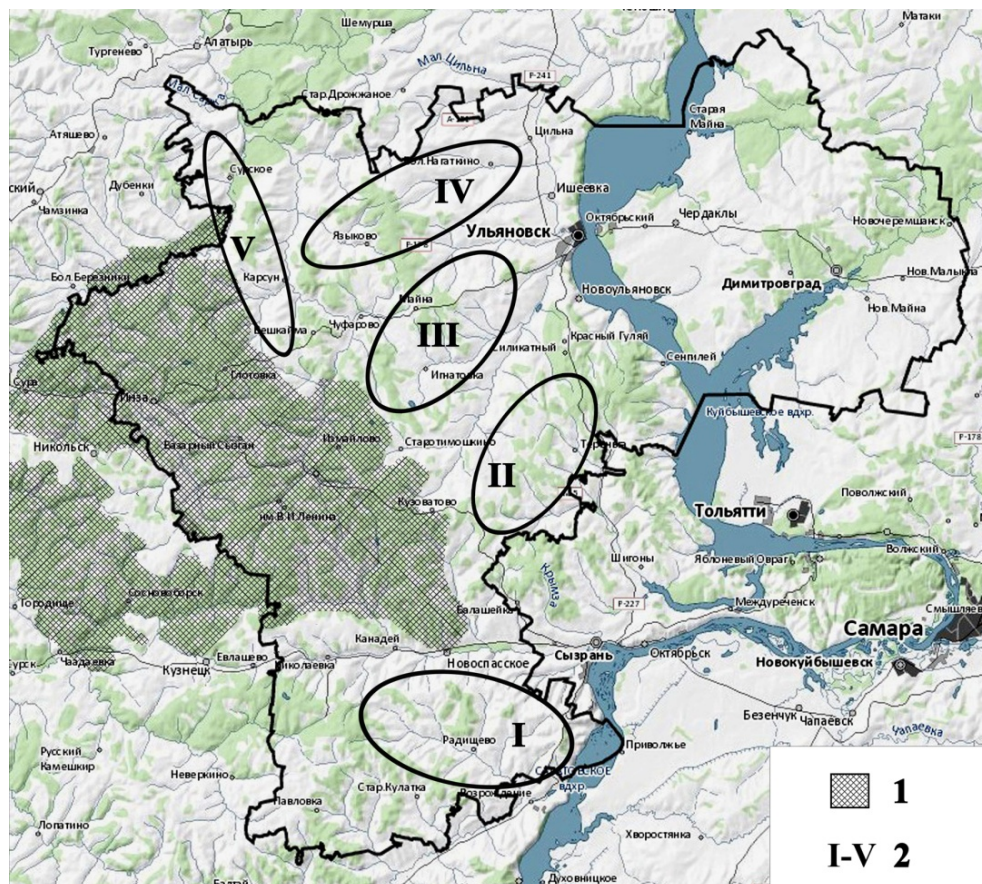


Рис. 2. Метапопуляционная структура восточной части ареала крапчатого суслика:
1 – лесные массивы, 2 – нумерация отдельных метапопуляций:
I – Южная (Сызранская), II – Восточная (Приволжская); III – Центральная;
IV – Северная; V – Северо-Западная (Присурская)

Используя данные по полиморфизму микросателлитной ДНК, модель метапопуляционной структуры восточной части ареала крапчатого суслика была проверена на достоверность по индексам фиксации гамет (F -статистика) разных по иерархическому популяционному уровню (F_{IS} , F_{SC} , F_{IT} , F_{ST}) (рис. 3).

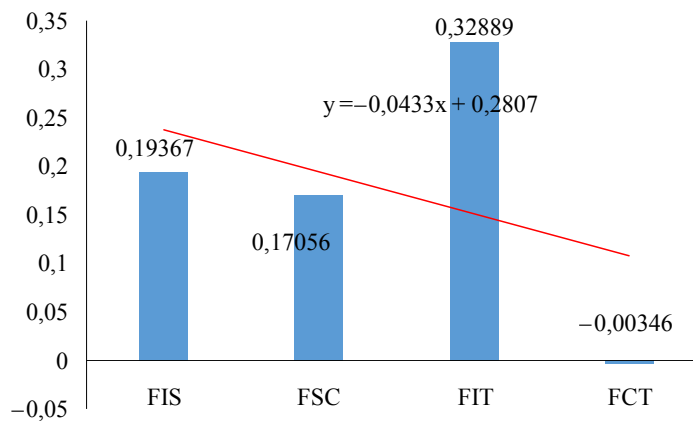


Рис. 3. Результаты анализа генетической структуры выделенных метапопуляций крапчатого суслика по индексам фиксации (многоуровневая F -статистика): F_{IS} – индекс фиксации гаплотипов (гамет) между особями в локальных популяциях; F_{SC} – индекс фиксации генотипов между локальными популяциями внутри метапопуляций; F_{IT} – индекс фиксации гаплотипов (гамет) между локальными популяциями из разных метапопуляций; F_{CT} – индекс фиксации популяций между метапопуляциями

Исследования генетической структуры популяций крапчатого суслика по индексу фиксации гамет выявили высокий уровень генетической разнообразности локальных популяций *S. suslicus*. При этом индексы фиксации гамет внутри локальных популяций и внутри метапопуляций оказались почти в два раза ниже, чем индексы фиксации гаплотипов между локальными популяциями из различных метапопуляций, что подтверждает возможность выделения последних в представленной выше метапопуляционной модели.

Анализ генетических дистанций по микросателлитным данным, охарактеризованных через индекс «дельта-мю квадрат» [12], измеряющий генетическую дистанцию между популяциями попарно на основе модели пошаговой мутации (Stepwise Mutation Model) и, как правило, линейно увеличивающийся с увеличением времени дивергенции, позволил получить следующие результаты.

Сравнение средних, максимальных и минимальных значений индекса «дельта-мю квадрат», характеризующего генетические дистанции, по трем микросателлитным локусам между популяциями крапчатого суслика в метапопуляциях по предложенной метапопуляционной модели дало следующие результаты. Значения для отдельных метапопуляций оказались ниже, чем для всех проанализированных популяций *S. suslicus* (4,173, 20,005, 0,182): I – 3,168, 6,880, 0,607; II – 2,932, 6,586, 0,849, что также подтверждает правдоподобность предложенной метапопуляционной модели восточной части ареала крапчатого суслика.

Выводы

1. Анализ данных по генетической структуре популяций крапчатого суслика, полученных по микросателлитным данным, показал, что в популяциях крапчатого суслика, в которых численность еще превышает эффективную (0,15 ос/га), наблюдается проявление деструктивных популяционных

процессов, выражающихся в несоответствии ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности популяций и потере аллелей на локус (прохождение популяциями стадии «бутылочного горлышка»).

2. Анализ индексов фиксации гамет, так и индексов «дельта-мю квадрат», характеризующий генетические дистанции между популяциями, подтверждает достоверность предложенных метапопуляционных моделей ареала крапчатого суслика в Поволжье и на уровне миграционных процессов, и на уровне дивергентных различий популяций.

3. Выявленный широкий размах изменчивости индексов генетических дистанций и их более высокие модальные значения у крапчатого суслика указывают на продолжительную историю формирования его популяций и на фрагментационный путь формирования его метапопуляционной структуры.

Библиографический список

1. **Алтухов, Ю. П.** Генетические процессы в популяциях / Ю. П. Алтухов. – М. : Академкнига, 2003. – 431 с.
2. **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.
3. Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. Е. А. Артемьевой, А. В. Масленникова, М. В. Корепова. – М. : Буки Веди, 2015. – 550 с.
4. Красная книга Пензенской области. Т. 2. Животные. – Пенза : Пензенская правда, 2005. – 300 с.
5. 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.
6. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). – 2-е изд. – Казань, 2006. – 832 с.
7. Красная книга Чувашской Республики. Т. 1. Ч. 2. Животные. – Чебоксары : РГУП «ИПК Чувашия», 2011. – 372 с.
8. **Sambrook, J.** Molecular cloning: A laboratory Manual / J. Sambrook, E. F. Fritsch, T. Maniatis. – New York : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. – P. 58–64.
9. **Gondek, A.** Polymorphic microsatellite markers for endangered spotted suslik, *Spermophilus suslicus* / A. Gondek, M. Verduijn, K. Wolff // Molecular Ecology Notes. – 2006. – № 6. – P. 359–361.
10. **Бакаева, С. С.** Полиморфизм популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld.) в восточной части ареала: предварительные молекулярно-генетические данные / С. С. Бакаева, С. В. Титов // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. Естественные науки. – 2012. – № 29. – С. 185–189.
11. Динамика ареалов и современное состояние поселений наземных беличьих в правобережных районах Поволжья / С. В. Титов, А. А. Кузьмин, Р. В. Наумов, О. А. Ермаков, С. С. Закс, О. В. Чернышова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – 124 с.
12. **Goldstein, D. B.** An evaluation of genetic distances for use with microsatellite loci / D. B. Goldstein, A. R. Linares, L. L. Cavalli-Sforza, M. W. Feldman // Genetics. – 1995. – № 139. – P. 463–471.

References

1. Altukhov Yu. P. *Geneticheskie protsessy v populyatsiyakh* [Genetic processes in population]. Moscow: Akademkniga, 2003, 431 p.

2. Titov S. V. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological journal]. 2001, vol. 80, no. 2, pp. 230–235.
3. *Krasnaya kniga Ul'yanovskoy oblasti* [The Red Book of Ulyanovsk region]. Eds. E. A. Artem'eva, A. V. Maslennikov, M. V. Korepov. Moscow: Buki Vedi, 2015, 550 p.
4. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 2. Zhitovnye* [The Red Book of Penza region. Vol. 2. Animals]. Penza: Penzenskaya pravda, 2005, 300 p.
5. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti. Griby. Lishayniki. Rasteniya. Zhitovnye* [The Red Book of Saratov region. Fungi. Lichens. Plants. Animals]. Komitet okhrany okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniya Saratovskoy oblasti. Saratov: Izd-vo Torgovopromyshlennoy palaty Saratovskoy oblasti, 2006, 528 p.
6. *Krasnaya kniga Respubliki Tatarstan (zhivotnye, rasteniya, griby)* [The Red Book of the Republic of Tatarstan (animals, plants, fungi)]. 2nd ed. Kazan, 2006, 832 p.
7. *Krasnaya kniga Chuvashskoy Respubliki. T. 1. Ch. 2. Zhitovnye* [The Red Book of the Republic of Chuvashiya. Vol. 1. Part 2. Animals]. Cheboksary: RGUP «IPK Chuvashiya», 2011, 372 p.
8. Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T. *Molecular cloning: A laboratory Manual*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989, pp. 58–64.
9. Gondek A., Verduijn M., Wolff K. *Molecular Ecology Notes*. 2006, no. 6, pp. 359–361.
10. Bakaeva S. S., Titov S. V. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V. G. Belinskogo. Estestvennye nauki* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Natural Sciences]. 2012, no. 29, pp. 185–189.
11. Titov S. V., Kuz'min A. A., Naumov R. V., Ermakov O. A., Zaks S. S., Chernyshova O. V. *Dinamika arealov i sovremennoe sostoyanie poseleniy nazemnykh belich'ikh v pravoberezhnykh rayonakh Povolzh'ya* [Habitat dynamics and modern condition of ground squirrel colonies in right Volga river bank regions]. Penza: Izd-vo PGU, 2015, 124 p.
12. Goldstein D. B., Linares A. R., Cavalli-Sforza L. L., Feldman M. W. *Genetics*. 1995, no. 139, pp. 463–471.

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
researcher, research department, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Кузьмин Антон Алексеевич

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

E-mail: kuzmin-puh@yandex.com

Kuzmin Anton Alekseevich

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of biotechnology
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, декан факультета физико-
математических и естественных наук,
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, dean of the Faculty of Physics,
Mathematics and Natural Sciences, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

УДК 591.557:599.322.2

Закс, С. С.

Генетическая структура популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus* Güld.) в Среднем Поволжье по данным анализа микросателлитной ДНК / С. С. Закс, А. А. Кузьмин, С. В. Титов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 50–62. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-5

УДК 54

DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-6

Ю. П. Перельгин, С. В. Кабанов

О ВЗАИМОСВЯЗИ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРА ТРУДНОРАСТВОРИМОЙ СОЛИ И ЕЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ РАСТВОРИМОСТИ

Аннотация.

Актуальность и цели. Установление математической зависимости между удельной электропроводностью и произведением растворимости труднорастворимой соли является достаточно актуальной задачей, поскольку это позволяет быстро определить концентрацию соли в растворе.

Результаты. Теоретически получена математическая зависимость между удельной электропроводностью и произведением растворимости труднорастворимой соли, которая подтверждена имеющимися в литературе данными.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволяют использовать полученное уравнение для определения произведения растворимости и концентрации труднорастворимой соли.

Ключевые слова: удельная электропроводность, произведение растворимости труднорастворимых солей.

Yu. P. Perehygin, S. V. Kabanov

ON THE INTERRELATION OF THE SPARINGLY SOLUBLE SALT SOLUTION'S SPECIFIC CONDUCTIVITY AND ITS SOLUBILITY PRODUCT

Abstract.

Background. Establishing a mathematical relationship between the electrical conductivity and solubility product of sparingly soluble salts is a quite topical problem as it allows to quickly determine the concentration of salt in a solution.

Results. The article describes a theoretically obtained mathematical dependence between the conductivity and the product of solubility of sparingly soluble salts, which is confirmed by the available published data.

Conclusions. The results of these studies allow to use the derived equation to determine the product of solubility and the concentration of sparingly soluble salts.

Key words: electrical conductivity, solubility product of sparingly soluble salts.

В работе [1] приводится методика определения произведения растворимости (ПР) труднорастворимых неорганических соединений через определение удельной электропроводности (χ) его насыщенного раствора. Таким

образом, имеется непосредственная связь между произведением растворимости и удельной электропроводностью. Однако математической зависимости между данными параметрами до настоящего времени не выявлено, что и послужило причиной проведения данной работы.

Эквивалентная электропроводность раствора (λ) [2] определяется уравнением $\lambda = \frac{\chi}{c}$ (c – концентрация соли в растворе, моль-экв/м³). Концентрация (моль/л) труднорастворимой соли $[M_m A_n]$ (M^{+n} – катион металл, A^{-m} – анион кислоты) в насыщенном растворе определяется уравнением [3]

$$[M_m A_n] = m+n \sqrt[m \cdot n]{\frac{\text{ПР}}{m^m \cdot n^n}}.$$

Принимая во внимание, что раствор в данном случае является очень разбавленным, то эквивалентная электропроводность при бесконечном разведении (λ_0) равна эквивалентной электропроводности в данном растворе $\lambda_0 = \lambda$ [1]. Получим следующее уравнение зависимости удельной электропроводности от величины произведения растворимости соли:

$$\chi = \lambda_0 m+n \sqrt[m \cdot n]{\frac{\text{ПР}}{m^m \cdot n^n}} 1000 \cdot \left(\frac{1}{f}\right) \text{ или}$$
$$\lg \chi = \lg \lambda_0 + \frac{1}{m+n} \lg \text{ПР} - \frac{1}{m+n} \lg (m^m \cdot n^n) + 3 - \lg (f), \quad (1)$$

где f – фактор эквивалентности соли.

Данное уравнение может быть применимо к различным веществам, эквивалентная электропроводность при бесконечном разбавлении (λ_0) которых практически равна. Последнее имеет место при температуре 25 °С для веществ, приведенных в табл. 1 ($\lambda_0 = 130 \cdot 10^{-4} \dots 148 \cdot 10^{-4}$ См м²/моль-экв) [4]. Объединив все постоянные уравнения (1), получим уравнение следующего вида:

$$\lg \chi = a + b \lg \text{ПР},$$

где постоянные $a = \lg \lambda_0 - \frac{1}{m+n} \lg (m^m \cdot n^n) + 3 - \lg (f)$ и $b = \frac{1}{m+n}$ зависят от типа соли.

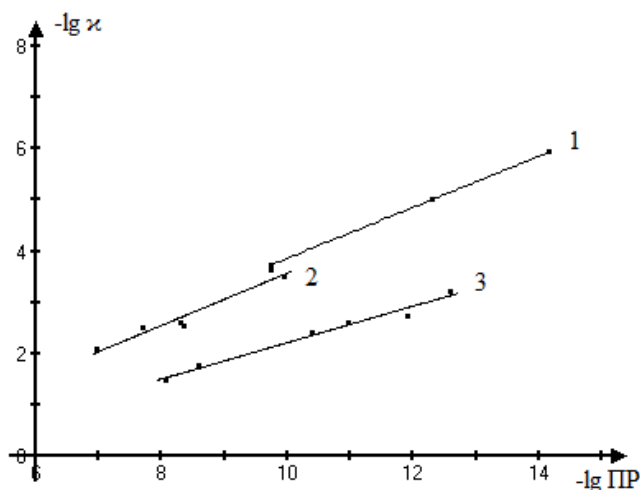
Из данного уравнения следует, что с уменьшением произведения растворимости соли удельная электропроводность насыщенного раствора труднорастворимой соли уменьшается, а углы наклона зависимости $\lg \chi - \lg \text{ПР}$ для соли типа МА и соли типа МА₂ или М₂А соответственно равны 0,5 и 0,33.

В табл. 1 приведены значения удельной электропроводности [4, с. 73] и произведения растворимости солей серебра, бария, меди, стронция, кальция и свинца [5].

Таблица 1

Соли типа МА (к прямой 1)			Соли типа МА ₂ или М ₂ А (к прямой 3)		
Вещество	ПР	Электро- проводность, См/м	Вещество	ПР	Электро- проводность, См/м
AgCl	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	Ag ₂ CrO ₄	$1,2 \cdot 10^{-12}$	$18,58 \cdot 10^{-4}$
AgBr	$5 \cdot 10^{-13}$	$0,99 \cdot 10^{-5}$	Ag ₂ C ₂ O ₄	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$25,475 \cdot 10^{-4}$
AgCN	$7 \cdot 10^{-15}$	$1,176 \cdot 10^{-6}$	CaF ₂	$4 \cdot 10^{-11}$	$39,96 \cdot 10^{-4}$
(к прямой 2)			PbJ ₂	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$338,4 \cdot 10^{-4}$
BaSO ₄	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	Pb(JO ₃) ₂	$2,6 \cdot 10^{-13}$	$5,96 \cdot 10^{-4}$
BaCrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	SrF ₂	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$171,8 \cdot 10^{-4}$
BaCO ₃	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$2,548 \cdot 10^{-3}$			
PbSO ₄	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,26 \cdot 10^{-3}$			
BaC ₂ O ₄	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$7,82 \cdot 10^{-3}$			
CaCO ₃	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$28,84 \cdot 10^{-4}$			

Зависимость удельной электропроводности от произведения растворимости в координатах $\lg \chi = f(\lg \text{ПР})$ представлена на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость $\lg \chi = f(\lg \text{ПР})$

Математическая обработка данных для веществ, приведенных в табл. 1, с использованием метода наименьших квадратов, позволила установить, что наиболее точно зависимость удельной электропроводности раствора χ (См/м) от ПР описывается уравнениями следующих видов:

$$\lg \chi = 1,25 + 0,5 \lg \text{ПР} \quad (\text{соль МА} - \text{прямая 1});$$

$$\lg \chi = 1,58 + 0,52 \lg \text{ПР} \quad (\text{соль МА} - \text{прямая 2});$$

$$\lg \chi = 1,34 + 0,355 \lg \text{ПР} \quad (\text{соль М}_2\text{А или МА}_2 - \text{прямая 3}).$$

Коэффициент корреляции данных уравнений равен 0,98.

Постоянные в последних трех уравнениях несколько отличаются от значений, рассчитанных по уравнению (1), в то же время угол наклона прямой $\lg \chi = f(\lg(\text{ПР}))$ практически точно совпадает с величиной, приведенной в уравнении (1). Это может свидетельствовать о достоверности уравнения (1).

Таким образом, полученное уравнение (1) может быть использовано для определения произведения растворимости и концентрации труднорастворимой соли.

Библиографический список

1. Практикум по электрохимии : учеб. пособие для хим. спец. вузов / под ред. Б. Б. Дамаскина. – М. : Высш. шк., 1991. – 288 с.
2. **Дамаскин, Б. Б.** Электрохимия / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. – М. : Химия : КолосС, 2006. – 672 с.
3. **Крешков, А. П.** Основы аналитической химии. Теоретические основы. Качественный анализ / А. П. Крешков. – М. : Химия, 1965. – Т. 1. – 472 с.
4. Справочник по электрохимии / под ред. А. М. Сухотина. – Л. : Химия, 1981. – 486 с.
5. **Лидин, Р. А.** Константы неорганических веществ : справочник / Р. А. Лидин, Л. Л. Андреева, В. А. Молочко ; под ред. Р. А. Лидина. – М. : Дрофа, 2006. – 685 с.

References

1. *Praktikum po elektrokhemii: ucheb. posobie dlya khim. spets. vuzov* [Electrochemistry laboratory work: tutorial for special chemical universities]. Ed. by B. B. Damaskin. Moscow: Vyssh. shk., 1991, 288 p.
2. Damaskin B. B., Petriy O. A., Tsirlina G. A. *Elektrokhemiya* [Electrochemistry]. Moscow: Khimiya: KolosS, 2006, 672 p.
3. Kreshkov A. P. *Osnovy analiticheskoy khimii. Teoreticheskie osnovy. Kachestvennyy analiz* [Basic analytical chemistry. Theoretical basis. Qualitative analysis]. Moscow: Khimiya, 1965, vol. 1, 472 p.
4. *Spravochnik po elektrokhemii* [Electrochemistry reference book]. Ed. by A. M. Sukhotin. Leningrad: Khimiya, 1981, 486 p.
5. Lidin R. A., Andreeva L. L., Molochko V. A. *Konstanty neorganicheskikh veshchestv: spravochnik* [Constants of nonorganic matter: reference book]. Moscow: Drofa, 2006, 685 p.

Перелыгин Юрий Петрович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой химии,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: pyp@pnzgu.ru

Perelygin Yuriy Petrovich

Doctor of engineering sciences, professor,
head of sub-department of chemistry,
Penza State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Кабанов Станислав Викторович

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

E-mail: pyp@pnzgu.ru

Kabanov Stanislav Viktorovich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of chemistry,
Penza State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

УДК 54

Перельгин, Ю. П.

О взаимосвязи удельной электропроводности раствора труднорастворимой соли и ее произведения растворимости / Ю. П. Перельгин, С. В. Кабанов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 63–67. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-6

УДК 551.5

DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-7

А. А. Николаев, Н. В. Исмагилов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОТОКОВ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Аннотация.

Актуальность и цели. Солнечная радиация является основным фактором для многих физических, химических и биологических процессов на земной поверхности. Однако данные о потоках солнечной радиации не всегда доступны по целому ряду причин: отсутствие метеостанций или проведения актинометрических наблюдений на них. Таким образом, актуальным становится вопрос вычисления потоков солнечной радиации. Основной целью данного исследования является обзор искусственных нейронных сетей (ИНС), с целью выявления подходящих моделей для вычисления солнечного излучения и выявления пробелов в исследованиях.

Материалы и методы. В качестве исходного материала использовались данные метеорологической обсерватории Казанского федерального университета.

Результаты. Исследование литературных источников показывает, что искусственные нейросетевые методы прогнозирования солнечной радиации более точны по сравнению с обычными методами. Разработаны десять моделей с различными входными параметрами. Выявлены наиболее лучшие из них.

Выводы. Результаты свидетельствуют, что использование нейросетевых моделей для вычисления потоков солнечной радиации является перспективным направлением исследований. Полученные модели позволяют рассчитывать характеристики солнечной радиации с использованием метеорологических параметров.

Ключевые слова: нейронные сети, суммарная радиация, прогнозирование.

A. A. Nikolaev, N. V. Ismagilov

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES TO CALCULATE TOTAL SOLAR RADIATION FLUXES

Abstract.

Background. Solar radiation is the main factor in many physical, chemical and biological processes on the earth's surface. However, solar flux data are not always available for a variety of reasons, e.g. a lack of meteorological stations or solar radiation observations on them. Thus, calculation of solar radiation fluxes appears to be a topical question. The main purpose of this study is to review artificial neural networks (ANN), in order to identify suitable models for calculation of solar radiation and to reveal research gaps.

Materials and methods. The data from the Meteorological Observatory of Kazan Federal University were taken as the initial research material.

Results. Studying of literary resources indicates that artificial neural network methods of solar radiation prediction are more accurate compared to conventional methods. Ten models with different input parameters have been developed and the best of them have been revealed.

Conclusions. The results indicate that the use of neural network models for calculation of solar radiation fluxes is a promising area of research. These models allow us to calculate solar radiation characteristics with the use of meteorological parameters.

Key words: neural networks, total radiation, prediction.

Введение

Солнечная радиация занимает одно из лидирующих положений среди возобновляемых источников энергии. Суммарный поток энергии солнечного излучения, поступающий на поверхность Земли, во много раз превышает мощность действующих в мире энергоустановок, а располагаемые ресурсы солнечной энергии на территориях всех стран, в том числе расположенных в высоких широтах, существенно превышают их энергетические потребности на обозримую перспективу [1].

Для многих районов земного шара данные о радиационном режиме полностью отсутствуют вследствие редкой актинометрической сети. Расстояния между ближайшими станциями актинометрической сети обычно измеряют сотнями, а иногда и тысячами километров [2].

В связи с этим возникает необходимость получения требуемых данных о радиационном режиме с помощью расчетных методов. Применение этих методов оказывается возможным благодаря тому, что основные характеристики солнечного режима связаны как между собой, так и с важнейшими метеорологическими характеристиками. Существование таких зависимостей позволяет рассчитывать большую часть отдельных характеристик радиационного режима или их совокупность по метеорологическим данным и некоторому минимальному количеству актинометрических данных [3].

Целью такого моделирования является расчет зависимости сумм солнечной радиации, приходящей на земную поверхность, от географической широты места, метеорологических факторов, дня года, времени суток и угла наклона поверхности. Широкое применение для этих целей нашли модели, основанные на использовании искусственных нейронных сетей.

Искусственные нейронные сети и их использование для расчетов характеристик солнечной радиации. Обзор проблемы

Искусственные нейронные сети (ИНС) – это мощный метод численного моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Нейронные сети нелинейны по своей природе [4]. Особенностью таких моделей является то, что зависимость между входом и выходом находится в процессе обучения сети.

В задачах регрессии целью является оценка числовой (принимающей непрерывный диапазон значений) выходной переменной по значениям входных переменных. В ИНС задачи регрессии можно решать с помощью сетей

следующих типов: многослойный персептрон, радиальная базисная функция, обобщенно-регрессионная сеть и линейная сеть. При этом выходные данные должны иметь стандартный числовой (не номинальный) тип [4].

Наиболее распространенная архитектура сети – многослойный персептрон. Каждый элемент такой сети строит взвешенную сумму своих входов с поправкой в виде слагаемого и затем пропускает эту величину активации через передаточную функцию, и таким образом получается выходное значение этого элемента. Элементы организованы в послойную топологию с прямой передачей сигнала. Такую сеть легко можно интерпретировать как модель вход-выход, в которой веса и пороговые значения являются свободными параметрами модели. Сеть может моделировать функцию практически любой степени сложности, причем число слоев и число элементов в каждом слое определяют сложность функции [4].

Количество входных и выходных элементов определяется условиями задачи. После того, как определено число слоев и число элементов в каждом из них, нужно найти значения для весов и порогов сети, которые бы минимизировали ошибку прогноза, выдаваемого сетью. Для этого служат алгоритмы обучения. С использованием собранных исторических данных веса и пороговые значения автоматически корректируются с целью минимизировать эту ошибку. Этот процесс представляет собой подгонку модели, которая реализуется сетью, к имеющимся обучающим данным. Ошибка для конкретной конфигурации сети определяется путем прогона через сеть всех имеющихся наблюдений и сравнения реально выдаваемых выходных значений с целевыми значениями. Все такие разности суммируются в функцию ошибок, значение которой и есть ошибка сети. В качестве функции ошибок чаще всего берется сумма квадратов ошибок.

Использование искусственных нейронных сетей оказывается эффективным инструментом при прогнозировании, позволяющем использовать в качестве предикторов параметры, которые не связаны между собой.

Для изучения режима солнечной радиации требуются долгопериодные ряды наблюдений в близлежащих пунктах и использование эмпирических, полуэмпирических, физических, нейронных сетей, вавелетов, фрактального анализа и других технологий [5]. Существует целый ряд работ, посвященный эмпирическим моделям расчетов солнечной радиации на горизонтальную поверхность, основанных на формуле Ангстрема [6].

Метеорологические и климатологические параметры являются наиболее важными факторами для определения количества солнечной радиации в различных регионах, где нет актинометрических наблюдений, и используются для вычислений с помощью ИНС потоков солнечной радиации [5, 6].

С целью выявления метеорологических и климатологических параметров используемых на входе нейронных сетей для вычисления потоков солнечной радиации рассмотрим ряд исследований в данной области.

Авторы работы [7] использовали температуру воздуха, порядковый номер дня в году и относительную влажность как входные данные нейронных сетей для расчета дневных значений солнечной радиации.

В работе [8] в качестве входных данных модели использовались географические координаты пунктов наблюдения, суммарная радиация при ясном небе, количество облачности, содержание водяного пара и озона.

А. Коджа и другие [9] на входе своей модели использовали широту, долготу и высоту места, среднюю температуру воздуха, количество облачности, скорость ветра и продолжительность солнечного сияния.

Т. С. Хатиб с соавторами в своих работах [10] для ряда пунктов Малайзии, кроме продолжительности солнечного сияния и географических координат, в качестве входных данных модели использовал порядковый номер дня в году.

В исследовании [11] входными параметрами для многослойного персептрона послужили значения скорости и направления ветра, относительной влажности воздуха, количество облачности, температура воздуха и парциальное давление.

Тымвиос с соавторами в своей работе [12] для ряда пунктов Кипра провели сравнительный анализ эмпирических моделей, основанных на формуле Ангстрема, и моделей, в основу которых положены искусственные нейронные сети. В качестве входных параметров использовались среднесуточные и среднемесячные значения возможной и реальной продолжительности солнечного сияния, среднесуточные величины максимальной температуры воздуха, энергетическая освещенность солнечной радиации горизонтальной поверхности на верхней границе атмосферы. Исследование показало, что искусственные нейронные сети дают лучшие результаты, чем модель Ангстрема. Среднеквадратическая погрешность моделей на основе нейронных сетей составила 10,5 %, у моделей с использованием формулы Ангстрема – 13,6 %.

Как видно, многочисленные исследователи разработали множество эмпирических моделей, основанных на использовании ИНС, которые определяют связь между солнечной радиацией и различными метеорологическими параметрами. Эти модели могут быть в основном разделены на четыре следующие категории на основе используемых метеорологических параметров:

- 1) модели на основе продолжительности солнечного сияния;
- 2) модели на основе облачности;
- 3) модели на основе температуры воздуха;
- 4) модели на основе других метеорологических параметров. Среди таких метеорологических параметров характеристики ветра, атмосферное давление, количество атмосферных осадков, относительная влажность воздуха;
- 5) смешанные модели, использующие в качестве входных данных различные метеорологические параметры.

Продолжительность солнечного сияния, облачность и температура воздуха являются наиболее широко и часто используемыми параметрами для вычисления суммарной солнечной радиации и его компонентов.

Материалы и методы

Для вычислений потоков солнечной радиации с помощью ИНС использовались наблюдения метеорологической обсерватории Казань-Университет по следующим параметрам: температура воздуха (°C), температура почвы (°C), относительная влажность (%), облачность (балл), состояния диска Солнца и суммарная солнечная радиация за 12-часовой срок.

Для того чтобы определить, как связана суммарная солнечная радиация (Q) и выбранные в данной работе метеорологические параметры: состояние диска Солнца (Sun), общее количество облачности (Cl), температура

почвы (Tn), температура воздуха (T) и относительная влажность воздуха (F) – обратимся к коэффициенту корреляции (r) (табл. 1).

Таблица 1

Связь суммарной солнечной радиации с различными метеорологическими параметрами

Показатели	Sun	Cl	Tn	T	F
Q	0,78	-0,45	0,66	0,61	-0,74

Исходя из табл. 1 видно, что для суммарной солнечной радиации и таких метеорологических параметров, как состояние диска Солнца, температура почвы и температура воздуха, характерна прямая корреляционная зависимость, тогда как для количества облачности и относительной влажности воздуха – обратная.

Различные источники [5–12] для оценки качества прогностических моделей предлагают использовать следующие критерии: $MAPE$ – средняя абсолютная ошибка (%), $RMSE$ (*Root Mean square Error*) – среднеквадратическая ошибка и R^2 – коэффициент детерминации:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{O_i - S_i}{O_i}, \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}, \quad (2)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2}} \right)^2, \quad (3)$$

где O_i и \bar{O} – фактическое и среднее фактическое значение за анализируемый период; S_i и \bar{S} – прогностическое и среднее прогностическое значения за анализируемый период; N – количество измерений.

Результаты и обсуждение

В последнее время большое количество исследований, касающихся моделирования и предсказания солнечной радиации, были выполнены с использованием ИНС.

В настоящем исследовании предлагаются десять ИНС-моделей, в качестве входных параметров использующих:

модель 1 – $Q = \tilde{a}(Sun, Cl)$ – состояние диска солнца и количество общей облачности;

модель 2 – $Q = \tilde{a}(Sun, Tn)$ – состояние диска солнца и температуру почвы;

модель 3 – $Q = \tilde{a}(Sun, T)$ – состояние диска солнца и температуру воздуха;

модель 4 – $Q = \tilde{a}(Sun, f)$ – состояние диска солнца и относительную влажность;

модель 5 – $Q = \tilde{a}(Cl, Tn)$ – количество облачности и температуру почвы;

модель 6 – $Q = \tilde{a}(Cl, T)$ – количество облачности и температуру воздуха;

модель 7 – $Q = \tilde{a}(Cl, f)$ – количество облачности и относительную влажность;

модель 8 – $Q = \tilde{a}(T, Tn)$ – температуру воздуха и температуру почвы;

модель 9 – $Q = \tilde{a}(Tn, f)$ – температуру почвы и относительную влажность;

модель 10 – $Q = \tilde{a}(T, f)$ – температуру воздуха и относительную влажность.

Таблица 2

Наилучшие сети с двумя входными параметрами

Тип	ИНС	Производительность обучения	Ошибка обучения	R^2	$RMSE$
Модель 1	2-4-1	0,764	0,2354	0,643	0,179
	2-10-1	0,767	0,0233	0,642	0,179
Модель 2	2-5-1	0,884	0,0123	0,907	0,126
	2-6-1	0,884	0,0124	0,836	0,121
Модель 3	2-3-1	0,876	0,0132	0,821	0,127
	2-6-1	0,876	0,0131	0,821	0,127
Модель 4	2-4-1	0,813	0,0192	0,751	0,149
	2-8-1	0,814	0,0191	0,752	0,149
Модель 5	2-4-1	0,708	0,0283	0,538	0,231
	2-8-1	0,711	0,0280	0,532	0,247
Модель 6	2-4-1	0,693	0,0295	0,517	0,260
	2-7-1	0,693	0,0294	0,517	0,257
Модель 7	2-7-1	0,633	0,0339	0,548	0,251
	2-8-1	0,632	0,0340	0,547	0,231
Модель 8	2-2-1	0,674	0,0331	0,455	0,284
	2-3-1	0,676	0,0307	0,459	0,265
Модель 9	2-2-1	0,692	0,0295	0,608	0,214
	2-5-1	0,691	0,0296	0,607	0,232
Модель 10	2-2-1	0,674	0,0309	0,596	0,246
	2-5-1	0,678	0,0306	0,596	0,245

Модели для обучения настраивались следующим образом: устанавливались минимальные значения скрытых нейронов – в нашем случае 2 и

максимальные – 10. Выбирались функции активации для скрытых и выходных нейронов: тождественная, логическая, гиперболическая и экспонента.

Далее осуществлялся процесс обучения, в результате которого из 50 сетей выбирались 10 наилучших.

Все рассматриваемые модели содержат в себе два входных параметра, число скрытых слоев от двух до десяти и одно прогностическое значение на выходе (табл. 2).

Лучший результат показали модели с таким параметром на входе, как состояние диска Солнца. Так, для модели № 2 средняя производительность составила 0,88, средняя ошибка обучения – 0,0125. А коэффициент детерминации изменяется от 0,82 до 0,91 в зависимости от числа скрытых нейронов.

Несколько меньшую производительность показали модели № 3 и № 4 – 0,878 и 0,813 соответственно. При этом коэффициент детерминации этих моделей меньше, чем у модели № 2, и равен 0,82 и 0,75 соответственно.

Нужно отметить, что у моделей № 1–4 есть существенный недостаток. Одним из входных параметров этих моделей является состояние диска Солнца, наблюдения за которым проводятся лишь в редких случаях. Это делает использование таких моделей затруднительным.

В качестве входных параметров в моделях № 5–10 используются достаточно распространенные метеорологические величины.

Следует отметить, что все шесть моделей показали практически одинаковую производительность обучения 0,67–0,71, но при этом коэффициент детерминации у них сильно варьируется от 0,54 для модели № 5 и до 0,46 для модели № 8.

Для подтверждения качества моделей рассмотрим графики проекции сетей с исходным рядом. На рисунках представлены распределение исходного ряда и значения, рассчитанные с помощью искусственных нейронных сетей, по модели № 2 (рис. 1), в качестве входных параметров здесь использовались состояние диска солнца и температура подстилающей поверхности, и по модели № 5 (рис. 2) – входными данными послужили температура подстилающей поверхности и количество общей облачности. Из рисунков видно, что сеть повторяет ход исходных значений. При этом расчеты, проводимые по модели № 2, наиболее близки к реальным.

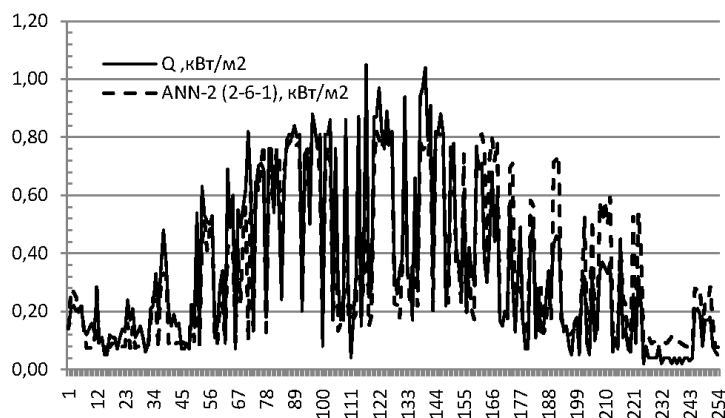


Рис. 1. График построения исходного ряда (Q) и проектируемой сети (ANN-2)

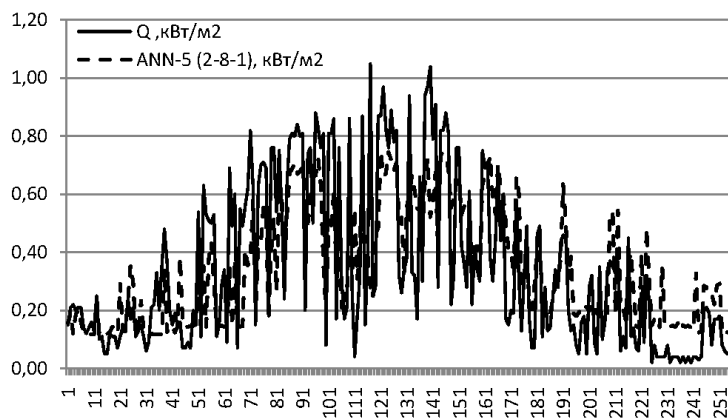


Рис. 2. График построения исходного ряда (Q) и проектируемой сети (ANN-5)

Заключение

Приведенные результаты свидетельствуют, что применение нейросетевых технологий для решения прикладных климатических задач, связанных с обработкой информации и построением моделей, является перспективным направлением исследований.

Анализ полученных результатов позволяет сказать, что аппарат ИНС может давать довольно хорошие результаты при прогнозировании потоков солнечной радиации. Для улучшения качества прогноза впоследствии есть ряд направлений, которые следует рассмотреть в будущем:

- 1) необходимо грамотно и правильно подбирать и задавать параметры на вход ИНС;
- 2) рассматривать сети с большим количеством входных данных, в качестве которых привлекать не только метеорологические параметры;
- 3) разработать процедуру формирования обучающего и контрольного множества.

Библиографический список

1. **Хабутдинов, Ю. Г.** Учение об атмосфере : учеб. пособие / Ю. Г. Хабутдинов, К. М. Шанталинский, А. А. Николаев. – Казань : Казанский гос. ун-т, 2010. – 245 с.
2. **Переведенцев, Ю. П.** Климатические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья и возможности их использования в энергетике / Ю. П. Переведенцев, А. А. Николаев. – Казань : Отечество, 2002. – 122 с.
3. **Николаев, А. А.** Косвенные методы расчета характеристик солнечной радиации / А. А. Николаев // Вестник Удмуртского университета. Сер. 6, Биология. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 1. – С. 130–135.
4. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / под ред. В. П. Боровикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.
5. **Sharifi, S. S.** Estimation of daily global solar radiation using wavelet regression, ANN, GEP and empirical models: A comparative study of selected temperature-based approaches / S. S. Sharifi, V. Rezaverdinejad, V. Nourani // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2016. – Т. 149 – P. 131–145.

6. **Besharat, Fariba.** Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study / Fariba Besharat, Ali A. Dehghan, Ahmad R. Faghieh // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2013. – Vol. 21. – P. 798–821.
7. **Rehman, S.** Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity / S. Rehman, M. Mohandes // *Energy Policy.* – 2008. – Vol. 63. – P. 571–576.
8. **Linares-Rodríguez, A.** Generation of synthetic daily global solar radiation data based on ERA-Interim reanalysis and artificial neural networks / A. Linares-Rodríguez, J. Ruiz-Arias, D. Pozo-Vázquez, J. Tovar-Pescador // *Energy.* – 2011. – Vol. 36. – P. 5356–5365.
9. **Koca, A.** Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey / A. Koca, H. F. Oztop, Y. Varol, G. O. Koca // *Expert Syst Appl.* – 2011. – Vol. 38. – P. 8756–8762.
10. **Khatib, T.** Solar energy prediction for Malaysia using artificial neural networks / T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian, M. Mahmoud // *Int J Photoenergy.* – 2012. – P. 1–16. – URL: www.hindawi.com
11. **Elminir, H. K.** Estimation of solar radiation components incident on Helwan site using neural networks / H. K. Elminir, F. F. Areed, T. S. Elsayed // *Sol Energy.* – 2005. – Vol. 79. – P. 270–279.
12. **Tymvios, F. S.** Comparative study of Ångströms and artificial neural networks methodologies in estimating global solar radiation / F. S. Tymvios, C. P. Jacovides, S. C. Michaelides, C. Scouteli // *Sol Energy.* – 2005. – Vol. 78. – P. 752–762.

References

1. Khabutdinov Yu. G., Shantalinskiy K. M., Nikolaev A. A. *Uchenie ob atmosfere: ucheb. posobie* [The teaching about the atmosphere: teaching aid]. Kazan: Kazanskiy gos. un-t, 2010, 245 p.
2. Perevedentsev Yu. P., Nikolaev A. A. *Klimaticheskie resursy solnechnoy radiatsii i vetra na territorii Srednego Povolzh'ya i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya v energetike* [Climatic resources of solar radiation and wind in the territory of Middle Volga region and their application opportunities in power engineering]. Kazan: Otechestvo, 2002, 122 p.
3. Nikolaev A. A. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. 6, Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurtia University. Series 6. Biology. Geosciences]. 2013, iss. 1, pp. 130–135.
4. *Neyronnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tekhnologii sovremenogo analiza dannykh* [Neural networks. STATISTICA Neural Networks. Methodology and technologies of contemporary data analysis]. Ed. by V. P. Borovikov. 2nd ed., revised and supplemented. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2008, 392 p.
5. Sharifi S. S., Rezaverdinejad V., Nourani V. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2016, vol. 149, pp. 131–145.
6. Besharat Fariba, Dehghan Ali A., Faghieh Ahmad R. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2013, vol. 21, pp. 798–821.
7. Rehman S., Mohandes M. *Energy Policy.* 2008, vol. 63, pp. 571–576.
8. Linares-Rodríguez A., Ruiz-Arias J., Pozo-Vázquez D., Tovar-Pescador J. *Energy.* 2011, vol. 36, pp. 5356–5365.
9. Koca A., Oztop H. F., Varol Y., Koca G. O. *Expert Syst Appl.* 2011, vol. 38, pp. 8756–8762.
10. Khatib T., Mohamed A., Sopian K., Mahmoud M. *Int J Photoenergy.* 2012, pp. 1–16. Available at: www.hindawi.com
11. Elminir H. K., Areed F. F., Elsayed T. S. *Sol Energy.* 2005, vol. 79, pp. 270–279.
12. Tymvios F. S., Jacovides C. P., Michaelides S. C., Scouteli C. *Sol Energy.* 2005, vol. 78, pp. 752–762.

Николаев Александр Анатольевич

кандидат географических наук, доцент,
кафедра метеорологии, климатологии
и экологии атмосферы, Казанский
(Приволжский) федеральный
университет (Россия, г. Казань,
ул. Кремлевская, 18)

E-mail: Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru

Nikolaev Aleksandr Anatolevich

Candidate of geographical sciences,
associate professor, sub-department
of meteorology, climatology and
atmosphere ecology, Kazan (Volga region)
Federal University (18 Kremlyovskaya
street, Kazan, Russia)

Исмагилов Наиль Вагизович

кандидат географических наук, доцент,
кафедра метеорологии, климатологии
и экологии атмосферы, Казанский
(Приволжский) федеральный
университет (Россия, г. Казань,
ул. Кремлевская, 18)

E-mail: Nail.Ismagilov@kpfu.ru

Ismagilov Nail Vagizovich

Candidate of geographical sciences,
associate professor, sub-department
of meteorology, climatology and
atmosphere ecology, Kazan (Volga region)
Federal University (18 Kremlyovskaya
street, Kazan, Russia)

УДК 551.5

Николаев, А. А.

Применение нейросетевых технологий для вычисления потоков суммарной солнечной радиации / А. А. Николаев, Н. В. Исмагилов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 68–77. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-7

ЛАНДШАФТЫ НАУЧНО-УЧЕБНОГО ПОЛИГОНА «САРМА» НА БАЙКАЛЕ

Аннотация.

Целью проведенного исследования является разработка среднемасштабной ландшафтной карты научно-учебного полигона «Сарма», которая в дальнейшем будет использована для составления схем планировочной организации модельной территории. При этом были решены такие задачи, как разработка схемы физико-географического районирования, сбор и обобщение материала по ландшафтной структуре территории. Рассматриваются научно-методические принципы и результаты физико-географического районирования и ландшафтного картографирования территории научно-учебного полигона «Сарма», расположенного на побережье пролива Малое Море озера Байкал. При изучении и картографировании ландшафтов использован регионально-типологический подход, учитывающий индивидуальные (региональные) и типологические свойства ландшафтов. Районирование осуществлено на основе индивидуальных признаков, а картографирование с использованием типологических свойств ландшафтов. На рассматриваемой территории выделено четыре района или ландшафтных комплексов. При составлении карты ландшафтной структуры использован метод заполнения региональных единиц типологическими, в соответствии с которым на карте ландшафтной структуры в границах районов отображены примыкающие друг к другу ландшафты ранга групп фаций. Дифференциация последних проведена с учетом высотно-поясных различий горно-котловинной территории и влиянием водной массы озера Байкал. Особое влияние на формирование ландшафтов оказывают тектонические факторы, обусловленные нахождением территории в пределах Байкальской рифтовой системы, влиянием Приморского сброса. В дальнейшем на основе карт ландшафтов и планировочной организации разрабатываются рекомендации по развитию туризма.

Ключевые слова: регионально-типологический подход, физико-географическое районирование, ландшафтное картографирование, ведущие факторы ландшафтной дифференциации, научно-учебный полигон «Сарма».

A. D. Abalakov, L. S. Novikova, D. I. Maryshkin

LANDSCAPES OF THE SCIENTIFIC-EDUCATIONAL GROUND “SARMA” ON LAKE BAIKAL

Abstract.

The aim of this study is to develop a landscape map of the scientific-educational ground “Sarma”, which will be used for drawing up schemes of arrangement planning of the model site. In this case, we have solved a number of tasks such as development of a physical-geographical zoning scheme, collection and collation of materials for the landscape structure of the territory. The article considers scientific-methodical principles and the results of physical-geographical regionalization and landscape mapping of the territory of the scientific-educational ground “Sarma”, located on the coast of the strait of Small Sea of Lake Baikal. For studies and mapping of landscapes we used the regional-typological approach, taking into account the

landscapes' individual (regional) and typological features. Zoning was based on individual characteristics, and mapping required typological properties of the landscapes. There are four zones or landscape complexes identified in the research territory. During landscape structure mapping, we used the method of replacing regional units with typological ones. Differentiation of the landscapes was carried out given high-zone differences of the mountain-hollows territory and the influence of Lake Baikal's water mass. The tectonic factors caused by the location within the Baikal rift system have a particular impact on the landscapes formation. In future there will be developed recommendations for tourism on the basis of landscape and arrangement planning maps.

Key words: regional-typological approach, physical-geographical zoning, landscape mapping, major factors of landscape differentiation, scientific-educational ground "Sarma".

Введение

Полигон «Сарма» находится в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории, соответствующей Участку Всемирного Природного наследия ЮНЕСКО. Маломорское побережье в районе полигона является одним из популярных мест отдыха. Здесь расположены многочисленные турбазы и летние лагеря неорганизованных туристов.

Полигон принадлежит факультету сервиса и рекламы Иркутского государственного университета. В п. Сарма имеется оборудованная база – научно-учебный центр «Сарма». На полигоне проводятся студенческие практики, совместные с сотрудниками Института географии СО РАН научные исследования преимущественно туристско-рекреационной направленности. В имеющихся публикациях отражены результаты исследований, освещающие вопросы научно-учебного и туристско-рекреационного обустройства территории, организации экологических полигонов и троп [1–6], развития научного туризма [7]. Проводятся работы по проектированию туристско-рекреационного комплекса. Решение этих и других задач может быть осуществлено на базе ландшафтной карты, принимаемой в качестве интерпретационной основы, используемой для ландшафтной индикации, заключающейся в оценке состояния природно-территориальных комплексов, отдельных их компонентов и протекающих в них процессах по легкодоступным для непосредственного наблюдения компонентам или космическим снимкам. На основе ландшафтной карты проводится анализ и проектирование различных видов туризма [8].

Под ландшафтом понимается природно-территориальный комплекс, включая его антропогенные модификации. Пространственная структура ландшафта – соотношение его частей, представляет совокупность ландшафтных территориальных единиц, связанных определенными пространственными отношениями. Ландшафтные единицы выделяют таким образом, чтобы в их пределах характер современных природных и антропогенных процессов был в целом одинаковым и однотипным по структуре и динамическим показателям. Ландшафтная карта рассматривается в качестве интерпретационной основы составления карт различного тематического содержания, в том числе территориального планирования [9, 10]. Причем роль ландшафтной карты тем выше, чем сложнее ландшафтная структура, контрастнее и уязвимее природные комплексы, более неравномерное хозяйственное использование территории и повышенный риск возникновения социально-природных конфликтов [11].

Природные особенности района Сарминского полигона

В формировании ландшафтной структуры рассматриваемого района отразились следующие особенности природных систем [12, 13]. На территории Предбайкалья в пределах западного макросклона Байкальской котловины по параметрам природных условий происходит взаимодействие двух наиболее контрастных географических макросистем – Североазиатской гольцово-таежной и Центрально-Азиатской пустынно-степной. В проявлении геологических процессов, определяющих геоморфологический облик поверхности района и формирующих характер горных пород, являющихся основой для почвообразования, проявляются структурные различия, присущие Байкальской рифтовой зоне. Территория полигона относится к Байкальскому горному поясу. Многообразие ландшафтов и их размещение рассматривается в связи с существующими высотными поясами. Большое значение в дифференциации ландшафтов играет Приморский разлом, разделяющий поднятие Приморского хребта и опускание Байкальской впадины.

На территории полигона, по В. С. Михееву [12], выделяются следующие ландшафтные структуры, дифференцированные по типам зонально-высотно-поясных условий природной среды. В верхнем ярусе Приморского хребта представлены подгольцовые редколесно-таежные ландшафты с участками горных тундр. Большую часть хребта занимают горно-таежные ландшафты. Зона Приморского разлома соотносится с краевыми частями горстовых хребтов с подтаежными и степными ландшафтами. На Сарминско-Курминской предгорной ступени выделяются таежно-лесные подгорные и лугово-болотные структуры озерных аккумулятивных равнин, а также горно-котловинные структуры подгорных лугово-степных аккумулятивно-денудационных равнин.

Физико-географическое районирование

Согласно схеме «Физико-географическое районирование», врезке к карте «Ландшафты юга Восточной Сибири» [13], район полигона относится к Прибайкальской гольцово-горно-таежной и котловинной провинции Байкало-Джугджурской горно-таежной области. В регионально-типологической структуре ландшафты полигона относятся к Североазиатским гольцовым и таежным геосистемам. Они принадлежат к трем крупным типам природной среды: 1) гольцовым (горно-тундровым) и подгольцовым Байкало-Джугджурским; 2) горно-таежным Байкало-Джугджурским; 3) горно-таежным и подтаежным Южносибирским. К особой категории относятся Центрально-азиатские степные геосистемы, расположенные среди Североазиатских геосистем на большом удалении от основного ареала развития.

По карте физико-географическое районирование Сибирского федерального округа полигон «Сарма» входит в состав страны Горы Южной Сибири Прибайкальской области [14].

Согласно схеме физико-географического районирования Байкальской природной территории [15] в районе полигона представлены следующие единицы районирования:

А. Байкало-Джугджурская горно-таежная область

IV. Прибайкальская гольцово-горно-таежная и котловинная провинция

11. Приморский гольцово-горно-таежный округ
- б. Сарма-Чанчурский гольцово-горно-таежный район
- IV₁. Байкальская котловинная прибрежная подпровинция
20. Ольхонский горно-подтаежный и подгорно-степной округ
- IV₂. Байкальская котловинная аквальная подпровинция
25. Маломорско-Академический мелководный район.

Рассматриваемые единицы районирования характеризуются присущими им особенностями высотно-поясной структуры и влиянием озера Байкал.

В работе изучение и картографирование ландшафтов территории полигона проведено на основе регионально-типологического подхода, учитывающего региональные (индивидуальные) и типичные черты ландшафтов [7, 16], т.е. каждому из них присваивается собственное (уникальное) название. Использован метод заполнения региональных единиц типологическими единицами. Районы выделяются по индивидуальному принципу, а составляющие их ландшафты топологического ранга – по типологическому принципу [17].

С учетом рассмотренной выше схемы физико-географического районирования Байкальской природной территории [15] в пределах полигона выделены следующие ландшафтные комплексы или ландшафтные районы (рис. 1).

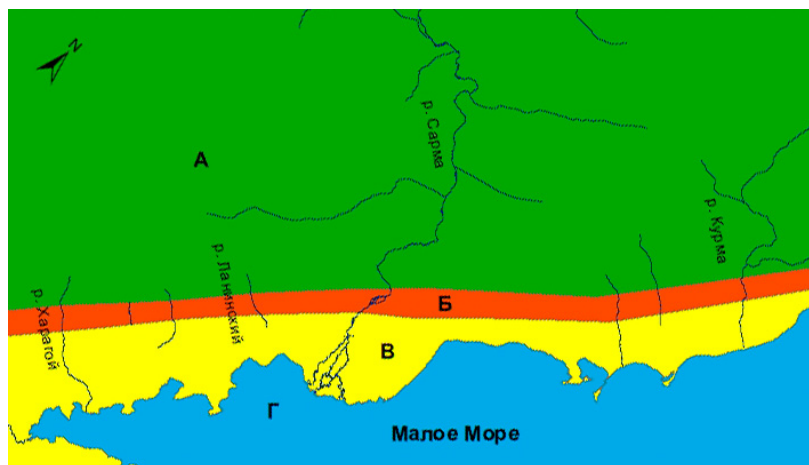


Рис. 1. Физико-географическое районирование территории полигона «Сарма»: А – Приморского хребта; Б – Приморского разлома; В – Сарминско-Курминской предгорной ступени; Г – Береговой зоны и акватории пролива Малое море

Гольцовый и горно-таежный комплекс Приморского хребта (А) входит в состав Сарма-Чанчурского гольцово-горно-таежного района. Степной и подтаежный комплекс Приморского разлома (Б) по геолого-геоморфологическим особенностям может быть отнесен к Сарма-Чанчурскому гольцово-горно-таежному району, а по геоботаническим признакам – к Ольхонскому горно-подтаежному и подгорно-степному округу. К этому же округу относится таежный, подтаежный, степной и лугово-болотный комплекс Сарминско-Курминской предгорной ступени (В), а также степной и водно-болотный комплекс береговой зоны (Г). Прибрежная акватория Малого Моря является частью Маломорско-Академического мелководного района.

Район Приморского хребта представлен гольцовыми и горно-таежными ландшафтами. Хребет слагают метаморфические породы сарминской

серии нижнего протерозоя, преимущественно кристаллические сланцы и гнейсы. Рельеф хребта эрозионно-денудационный глыбовый тектонически обусловленный. Он характеризуется выположенными и массивными куполовидными вершинами. Высота хребта превышает отметку 1600 м. В центральной части хребта представлены долины слабоврезанных верховьев рек. В краевой части хребта, обращенной к Байкальской впадине и находящейся в сфере влияния Приморского сброса, они преобразуются в глубоко врезанные долины рек. Весь хребет пересекает только долина реки Сармы. Общим базисом эрозии этих рек является озеро Байкал, а промежуточным – подножия приразломного склона Приморского сброса, где реки выходят на предгорную равнину.

Приморский сброс является участком Обручевского разлома. Ландшафты в зоне разлома имеют тектоническое происхождение и входят в систему разломов Байкальского рифта. В плане Приморский сброс имеет прямолинейную форму, отчетливо проявляется в виде уступа, протягивающегося вдоль северо-восточного побережья Байкала. Максимальная высота уступа достигает 600 м. На крутом приразломном склоне развиты подтаежные и степные ландшафты.

Сарминско-Курминская предгорная ступень представлена линейно-вытянутыми грядами невысоких гор и подгорными равнинами, обращенными к Байкалу. Эта ступень отделена от Приморского хребта Приморским сбросом. Ее слагают кристаллические породы, представленные гнейсами и известняками архейского и раннепалеозойского возраста. В ряде мест на этих породах сформировались коры выветривания палеогенового возраста [18]. Простираение докембрийских пород совпадает с ориентировкой структурных форм рельефа и новейших разломов. Нижнеплейстоценовые отложения встречаются фрагментарно в виде узких линейных полос. Рельеф ступени денудационно-структурный и денудационно-аккумулятивный тектонически обусловленный. У подножия Приморского хребта представлены современные пролювиальные и аллювиальные отложения водотоков. Ближе к побережью Малого моря распространены верхне- и среднеплейстоценовые отложения. Преобладают горно-таежные, подтаежные и степные ландшафты.

Береговая зона и прибрежная мелководная акватория Малого моря включают мелководный пролив с островами и различными видами тектонически обусловленных абразионных и аккумулятивных берегов. В результате молодых тектонических движений и ингрессии байкальских вод в понижение грядово-лощинного субаэрального рельефа в позднем неоплейстоцене возник рiasовый тип берегов Приольхонья [19]. Для береговой зоны характерны степные и озерно-болотные комплексы.

Ландшафтная структура территории полигона

В пределах указанных региональных подразделений выделены следующие типы ландшафтов топологической размерности ранга групп фаций, которые представлены на ландшафтной карте (рис. 2). При ее составлении использованы материалы крупномасштабного ландшафтно-типологического картографирования ключевого участка в пределах полигона «Сарма» [20]. Авторы исходили из того, что ландшафтные карты подразделяются на две категории: общегеографические и специализированные. На первых дается общая ландшафтная характеристика, а вторые отражают признаки, наиболее

существенные при определенном виде использования карт [21]. Разработанная авторами ландшафтная карта относится ко второй категории. Методические приемы предполагают выявление определенных особенностей, присущих ландшафтным выделам, отражающих их эстетическую привлекательность и уникальность. Эти признаки имеют решающее значение при туристско-рекреационной организации территории.

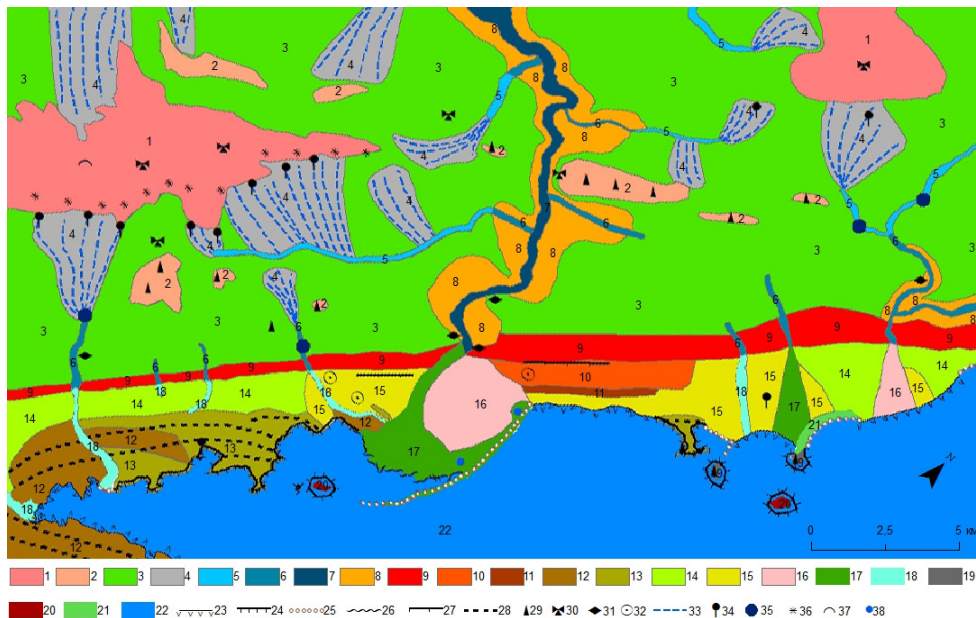


Рис. 2. Ландшафты территории полигона «Сарма»

А. Гольцовые и горно-таежные Приморского хребта на кристаллических сланцах и гнейсах нижнего протерозоя

Вершинные поверхности Приморского хребта
 Гольцовые и подгольцовые

1. Уплощенных вершин криогенно-нивальные с развитием каменных россыпей, курумов, снежников, горно-тундровые с зарослями кедрового стланика и ерников, редианами лиственницы на петроземах, литоземах грубогумусированных, торфяно-литоземах, криоземах грубогумусных (К, М).

2. Структурных гряд с пологими и куполовидными вершинами, денудационными останцами и каменными россыпями подгольцовые редколесные и горно-таежные лиственничные кустарничково-моховые с кедровым стлаником в подлеске на литоземах перегнойных и торфяно-перегнойных, подзолах иллювиально-железистых, органокриометаморфических глееватых, дерново-подзолистые глееватые (М).

Горно-таежные

3. Водораздельных поверхностей с уплощенными вершинами и пологими склонами с фрагментами реликтовых зарастающих каменных россыпей и курумов лиственничные с участием сосны и кедра травяно-кустарничковые и кустарничково-моховые и вторичными березово-осиновыми травяно-кустарничковыми и травяно-моховыми лесами и горяями на подзолах иллювиально-железистых, подбурах, дерново-подбурах и дерново-подзолистых почвах (К, М).

4. Пологих склонов и водосборных воронок веерной формы с руслами временных водотоков эрозионно-термокарстового происхождения с еловыми и кедрово-пихтовыми влажнотравными лесами вдоль ложбин стока на торфяно-криоземах, торфяно-подбурах, подбурах перегнойных, глееватых (С).

Горные долины

5. Слабо врезанных верховий речных долин с процессами заболачивания и наледями лиственничные с участием сосны, ели и кедра кустарниковые и кустарничково-моховые с перегнойно-криометаморфическими почвами, криоземами и торфяно-криоземами (С, М).

6. Узких глубоко врезанных речных долин с активной эрозией таежные с аллювиальными гумусовыми и темногумусовыми, дерново-подзолистыми почвами (С).

7. Глубоко врезанных разработанных речных долин с участками долинных расширений таежные, кустарниковые и лугово-степных с дерново-подзолистыми, черноземовидными, аллювиальными темногумусовыми и перегнойно-глеевыми почвами (С).

8. Крутых склонов речных долин с развитием гравитационных и эрозионных процессов лиственничные с кедром на северных склонах криоземами и торфяно-подзолистыми почвами; лугово-степные и сосново-лиственничные травяные и рододендроновые с дерново-подзолистыми, серыми и черноземовидными почвами на южных склонах (С).

Б. Степные и подтаежные Приморского разлома на кристаллических сланцах и гнейсах нижнего протерозоя и архея

9. Крутых прямолинейных приразломных склонов Приморского сброса с системой базальных фасет, степные и подтаежные сосново-лиственничные травяные и рододендроновые, с литоземами серогумусовыми, черноземовидными и подзолистыми почвами (С).

10. Промежуточной тектонической ступени с сейсмодислокациями и палеогеновыми корами выветривания степные и сосново-лиственничные остепненные с черноземовидными и серыми почвами (М).

11. Крутого склона промежуточной тектонической ступени с десерпцией и линейной эрозией, горные петрофильные степные, с карболитоземами темногумусовыми, темногумусовыми и серогумусовыми остаточно-карбонатными почвами (С).

В. Подтаежные, сухостепные и лугово-болотные Сарминско-Курминской предгорной ступени на гнейсах и кристаллических сланцах архея, местами перекрытых песками и валунно-галечниковыми отложениями четвертичного возраста и палеогеновыми корами выветривания

12. Структурно-рядовых низкогорий таежные лиственничные и сосновые травяно-кустарничковые и багульниковые на дерново-подзолистых почвах и подтаежные сосновые и лиственничные рододендроновые и травяные с литоземами серогумусовыми и подзолистыми почвами (М).

13. Структурно-рядовых низкогорий степные на темногумусовых, черноземовидных и серых почвах (М).

14. Подгорных наклонных равнин – тектонических педиментов и озерных террас подтаежные сосново-лиственничные травяные и рододендроновые с дерново-подзолистыми и серыми почвами (К, М, П).

15. Подгорных наклонных равнин – тектонических педиментов и озерных террас степные с черноземовидными, каштановыми и светлогумусовыми почвами (К, М, П).

16. Дельтовые (конусов выноса рек) степные и подтаежные сосново-лиственничные травяные и рододендроновые с серыми почвами и черноземами глинисто-аллювиальными гидрометаморфизованными (М).

17. Дельтовые (конусов выноса рек) и озерных террас луговые и болотные с гумусово-гидрометаморфическими, аллювиальными темногумусовыми, торфяно-глеевыми и перегнойно-глеевыми почвами (С).

18. Слабо врезанных долин рек и долинных педиментов лугово-кустарниковые с темногумусовыми, аллювиальными гумусовыми, торфяно-глеевыми и перегнойно-глеевыми почвами (С, М).

Г. Степные и водно-болотные береговой зоны на гнейсах и кристаллических сланцах архея

19. Скальные мысы с петрофитной степью на литоземах темногомусовых и черноземах маломощных сильнокаменистых, причлененные к берегу песчано-галечниковыми косами (С, П).

20. Скальные острова с петрофитной степью на темногомусовых почвах, литоземах светлогумусовых и темногомусовых (С).

21. Соровые озера с биогенными отложениями и торфяными эутрофными почвами (С).

22. Прибрежная акватория пролива Малое Море.

Дополнительные обозначения

23. Абразионные берега в скальных породах.

24. Абразионные берега в рыхлых отложениях.

25. Аккумулятивные берега, представленные пляжами, береговыми и озерными косами.

26. Биогенные берега.

27. Сейсмодислокации.

28. Оси структурных гряд.

29. Денудационные останцы.

30. Каменные россыпи и курумы.

31. Обвалы и осыпи.

32. Суффозионные воронки и понижения.

33. Линии стока в веерных формах.

34. Родники.

35. Наледи и наледные поляны.

36. Снежники.

37. Бугры морозного пучения.

38. Торфяные бугры с ледяным ядром.

Примечание. В скобках указаны динамические категории ландшафтов: К – коренные, М – мнимокоренные, С – серийные, П – производные.

Далее дается краткая характеристика элементов ландшафтной структуры полигона. Номера в скобках соответствуют рубрикации легенды.

В пределах района Приморского хребта (А) в верхнем ярусе рельефа сохранились остаточные поверхности выравнивания с гольцовыми и подгольцовыми ландшафтами, развитием криогенных и нивальных форм рельефа (1). Более низкий уровень занимают подгольцовые и горно-таежные ландшафты структурных гряд с денудационными останцами (2). Большую часть хребта занимают пологосклонные водораздельные поверхности (3). Здесь представлены фоновые горно-таежные лиственничные кустарничково-зеленомошные леса с участием сосны и кедра. Широко распространены реликтовые формы криогенных процессов – участки зарастающих курумов и каменных россыпей. Верхние звенья водосборной сети представлены веерной и линейной формы ложбинаит стока эрозионно-термокарстового происхождения с влажнотравными кедрово-пихтовыми и еловыми лесами (4). Многие ложбины имеют родниковое питание. В горловинах водосборных воронок формируются наледи, образующие валунные наледные поляны. Ложбины стока разгружаются в слабо врезанные верховья долин рек (5), переходящих в краевой части хребта, обращенного к Байкалу, в глубокие долины (6) с крутыми склонами (7).

В зоне Приморского сброса (Б) на крутых прямолинейных приразломных склонах развиты петрофитные степи и подтаежные сосновые травяные и рододендроновые леса (9). Разлом осложнен тектоническими ступенями с сейсмодислокациями и палеогеновыми корами выветривания (10) [23, 24]. Ниже располагается невысокий крутой склон ступени (11).

Сарминско-Курминская предгорная ступень является продолжением Приольхонского плато и Кучелго-Таловской депрессии (В). Эта ступень характеризуется низкогорным рельефом, представленным структурными грядами (12, 13) и подгорными наклонными равнинами (14, 15). В морфотектоническом отношении – это краевая ступень, сформировавшаяся в зоне разветвления крупных разломов западного борта Байкальской котловины. На структурных грядах, в зависимости от экспозиции, представлены горно-таежные, подтаежные и степные ландшафты. Подгорные наклонные аккумуляционно-денудационные равнины большей частью являются тектоническими педиментами с маломощным чехлом рыхлых отложений. Здесь преобладают подтаежные и степные ландшафты. В устьях рек Сармы и Курмы на подгорных равнинах сформировались конусы выноса в виде континентальных дельт с подтаежными, степными и лугово-болотными ландшафтами (16, 17). Наиболее живописные и продуктивные луга представлены в низовьях р. Сарма. Сток этих относительно крупных рек доходит до Байкала, а другие малые водотоки уходят под землю (18).

Район Малого моря (Г) включает мелководный пролив (22) со скальными островами (19) и мысами (20), обрамленными структурно-абразионными и абразионно-денудационными берегами. На островах преобладает петрофитная степь. Ландшафты береговой зоны представлены берегами риасового типа. В настоящее время они формируются преимущественно волновыми процессами с образованием различных типов абразионных в скальных (23) и рыхлых (24) породах, аккумулятивных (25) и биогенных берегов (26). Песчанно-галичниковые косы отделяют от акватории Малого Моря соровые озера (21).

Заключение

Задачи туристско-рекреационного освоения территории решаются посредством полноты охвата разнообразия природных условий. В большей степени этим целям отвечает ландшафтная карта. На ландшафтной карте отражены покомпонентные и комплексные неоднородности ландшафтного покрова и факторы природной среды, влияющие на условия проживания местного населения и отдыхающих, ведение традиционной хозяйственной деятельности и развития туризма. Вследствие чего такая карта является основой для составления схем рекреационно-планировочной организации территории полигона «Сарма» и организации туристско-рекреационного комплекса. Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы: показана целесообразность использования регионально-типологического подхода для изучения и картографирования ландшафтов; на карте отображены ландшафты, наиболее значимые для интерпретации туристско-рекреационной деятельности; предложенный подход ландшафтного картографирования может быть использован на других территориях с подобной спецификой.

Библиографический список

1. **Абалаков, А. Д.** Проектирование экскурсионного маршрута в пределах научно-учебного полигона «Сарма» / А. Д. Абалаков, В. В. Дроков, Н. С. Панкеева, Д. И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Науки о Земле. – 2015. – Т. 12. – С. 2–11.
2. **Абалаков, А. Д.** Организация научно-учебного полигона «Сарма» в Байкальском регионе России / А. Д. Абалаков, В. В. Дроков, Н. С. Панкеева // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Науки о Земле. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 3–18.
3. **Абалаков, А. Д.** Сеть экологических троп в Прибайкальском национальном парке как инструмент организации туристской деятельности / А. Д. Абалаков, В. В. Дроков, Н. С. Панкеева, С. А. Седых // Современные проблемы сервиса и туризма. – 2013. – № 1. – С. 48–58.
4. Воссоздание Хужир-Нугайской утужной системы для поддержания традиционного природопользования и этноэкологического туризма / А. Д. Абалаков, Н. С. Панкеева, Л. С. Новикова, В. В. Дроков, С. А. Седых, Д. И. Марышкин // Вестник Бурятского государственного университета. Гуманитарные исследования Внутренней Азии. Периферийные сообщества. – 2013. – № 2. – С. 123–134.
5. Особенности химического состава вод и почв в Приольхонье на побережье Байкала / И. А. Белозерцева, Н. В. Кичигина, А. Д. Абалаков, В. В. Дроков, Д. И. Марышкин // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5. – С. 2, 3.
6. **Кичигина, Н. В.** Водотоки в пределах научно-учебного полигона «Сарма» на побережье оз. Байкал как объекты экологически ориентированных видов туризма / Н. В. Кичигина, А. Д. Абалаков, В. В. Дроков, Д. И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Науки о Земле. – 2015. – Т. 14. – С. 34–45.
7. **Марышкин, Д. И.** Организация научного туризма на научно-учебном полигоне «Сарма» в Приольхонье / Д. И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Науки о Земле. – 2016 – Т. 15. – С. 66–76.
8. **Якунин, В. Н.** Виды туризма: историография вопроса / В. Н. Якунин // Карельский научный журнал. – 2014. – № 2. – С. 78–83.
9. **Исаченко, А. Г.** Ландшафтный подход как основа системного картографирования природной среды в целях ее оптимизации / А. Г. Исаченко // Картографирование географических систем. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – С. 32–40.
10. Ландшафтно-интерпретационное картографирование / Т. И. Коновалова, Е. П. Бессолицина, И. Н. Владимиров [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2005. – 424 с.
11. **Чижова, В. П.** Методика зонирования национальных парков / В. П. Чижова // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – № 3 (16). – С. 105–123.
12. **Михеев, В. С.** Ландшафтный синтез географических знаний / В. С. Михеев. – Новосибирск : Наука, 2001. – 216 с.
13. **Плюснин, В. М.** Территориальное планирование Центральной экологической зоны Байкальской природной территории / В. М. Плюснин, И. Н. Владимиров. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2013. – 407 с.
14. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта). Масштаб 1 : 500 000 / сост. В. С. Михеев, В. А. Ряшин. – М. : ГУГК, 1977. – 4 л.
15. **Калихман, Т. П.** Атлас. Особо охраняемые природные территории Сибирского федерального округа / Т. П. Калихман, В. Н. Богданов, Л. Ю. Огородникова. – Иркутск : Оттиск, 2012. – 384 с.
16. **Плюснин, В. М.** Картографирование и районирование геосистем / В. М. Плюснин, И. Н. Биличенко, М. В. Загорская, А. А. Сороковой // Географические исследования Сибири. Т. 1. Структура и динамика геосистем. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2007. – С. 72–109.

17. **Абалаков, А. Д.** Изучение и картографирование геосистем на основе регионально-типологического подхода / А. Д. Абалаков, С. А. Седых. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2010. – 96 с.
18. **Михеев, В. С.** Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири / В. С. Михеев. – Новосибирск : Наука, 1987. – 207 с.
19. **Домбровская, Ж. В.** Палеогеновая кора выветривания Центрального Прибайкалья / Ж. В. Домбровская. – М. : Наука, 1973. – 155 с.
20. Особенности рельефа Приольхонья / Г. В. Уфимцев, Т. М. Сквитина, И. А. Филинов, А. А. Щетников [и др.] // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 56–62.
21. **Биличенко, И. Н.** Картографирование ландшафтов Западного Прибайкалья / И. Н. Биличенко, С. А. Седых // Геодезия и картография. – 2016. – № 9. – С. 38–47.
22. **Суворов, Е. Г.** Ландшафтное обоснование регламентации хозяйственной деятельности / Е. Г. Суворов, Н. И. Новицкая // Географические исследования Сибири. Т. 1. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2007. – С. 320–345.
23. **Макаров, С. А.** Геоморфологические процессы Приольхонья в голоцене / С. А. Макаров // География и природные ресурсы. – 1997. – № 1. – С. 77–84.
24. Эпицентральные зоны ранних (досейсмостектонических) землетрясений / В. П. Солоненко, В. С. Хромовских, О. В. Павлов, Р. А. Курушин [и др.]. // Сейсмостектоника и сейсмичность рифтовой системы Прибайкалья. – М. : Наука, 1968. – С. 7–60.

References

1. Abalakov A. D., Drovkov V. V., Pankeeva N. S., Maryshkin D. I. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Nauki o Zemle* [Proceedings of Irkutsk State University. Series: Geosciences]. 2015, vol. 12, pp. 2–11.
2. Abalakov A. D., Drovkov V. V., Pankeeva N. S. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Nauki o Zemle* [Proceedings of Irkutsk State University. Series: Geosciences]. 2012, vol. 5, no. 2, pp. 3–18.
3. Abalakov A. D., Drovkov V. V., Pankeeva N. S., Sedykh S. A. *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern problems of services and tourism]. 2013, no. 1, pp. 48–58.
4. Abalakov A. D., Pankeeva N. S., Novikova L. S., Drovkov V. V., Sedykh S. A., Maryshkin D. I. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Gumanitarnyye issledovaniya Vnutrenney Azii. Periferiynyye soobshchestva* [Bulletin of Buryatiya State University. Humanitarian research of Inner Asia. Peripheral communities]. 2013, no. 2, pp. 123–134.
5. Belozertseva I. A., Kichigina N. V., Abalakov A. D., Drovkov V. V., Maryshkin D. I. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Progress of modern natural sciences]. 2014, no. 5, pp. 2, 3.
6. Kichigina N. V., Abalakov A. D., Drovkov V. V., Maryshkin D. I. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Nauki o Zemle* [Proceedings of Irkutsk State University. Series: Geosciences]. 2015, vol. 14, pp. 34–45.
7. Maryshkin D. I. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Nauki o Zemle* [Proceedings of Irkutsk State University. Series: Geosciences]. 2016, vol. 15, pp. 66–76.
8. Yakunin V. N. *Karel'skiy nauchnyy zhurnal* [Karelia scientific journal]. 2014, no. 2, pp. 78–83.
9. Isachenko A. G. *Kartografirovaniye geograficheskikh system* [Geographical system mapping]. Moscow: Izd-vo MGU, 1981, pp. 32–40.
10. Konovalova T. I., Bessolitsina E. P., Vladimirov I. N. et al. *Landshaftno-interpretatsionnoye kartografirovaniye* [Landscape interpretative mapping]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 424 p.
11. Chizhova V. P. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i global'noy energii* [South Russian bulletin of geology, geography and global energy]. 2006, no. 3 (16), pp. 105–123.

12. Mikheev V. S. *Landshaftnyy sintez geograficheskikh znaniy* [Landscape synthesis of geographical knowledge]. Novosibirsk: Nauka, 2001, 216 p.
13. Plyusnin V. M., Vladimirov I. N. *Territorial'noe planirovanie Tsentral'noy ekologicheskoy zony Baykal'skoy prirodnoy territorii* [Territory planning of the Central ecological zone of the Baikal natural territory]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2013, 407 p.
14. *Landshafty yuga Vostochnoy Sibiri (karta). Masshtab 1 : 500 000* [Landscapes of the South of Eastern Siberia (map). Scale 1 : 500 000]. Comp. by V. S. Mikheev, V. A. Ryashin. Moscow: GUGK, 1977, 4 sh.
15. Kalikhman T. P., Bogdanov V. N., Ogorodnikova L. Yu. *Atlas. Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Sibirskogo federal'nogo okruga* [Atlas. Natural territories of Siberia Federal District under special protection]. Irkutsk: Ottisk, 2012, 384 p.
16. Plyusnin V. M., Bilichenko I. N., Zagorskaya M. V., Sorokovoy A. A. *Geograficheskie issledovaniya Sibiri. T. 1. Struktura i dinamika geosistem* [Geographical research of Siberia. Vol. 1. Geosystem structure and dynamics]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2007, pp. 72–109.
17. Abalakov A. D., Sedykh S. A. *Izuchenie i kartografirovaniye geosistem na osnove regional'no-tipologicheskogo podkhoda* [Geosystem research and mapping on the basis of the regional-typological approach]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2010, 96 p.
18. Mikheev V. S. *Landshaftno-geograficheskoe obespechenie kompleksnykh problem Sibiri* [Landscape-geographical support of complex problems solving in Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1987, 207 p.
19. Dombrovskaya Zh. V. *Paleogenovaya kora vyvetrivaniya Tsentral'nogo Pribaykal'ya* [Paleogene residual soil of Central Baikal region]. Moscow: Nauka, 1973, 155 p.
20. Ufimtsev G. V., Skovitina T. M., Filinov I. A., Shchetnikov A. A. et al. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 2010, no. 4, pp. 56–62.
21. Bilichenko I. N., Sedykh S. A. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and mapping]. 2016, no. 9, pp. 38–47.
22. Suvorov E. G., Novitskaya N. I. *Geograficheskie issledovaniya Sibiri. T. 1* [Geographical research of Siberia. Vol. 1]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2007, pp. 320–345.
23. Makarov S. A. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 1997, no. 1, pp. 77–84.
24. Solonenko V. P., Khromovskikh V. S., Pavlov O. V., Kurushin R. A. et al. *Seysmotektonika i seysmichnost' riftovoy sistemy Pribaykal'ya* [Seismotectonics and seismicity of the Baikal's rift system]. Moscow: Nauka, 1968, pp. 7–60.

Абалаков Александр Дмитриевич

доктор географических наук, профессор, кафедра геоэкологии, картографии и геоинформатики, Иркутский государственный университет (Россия, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1); ведущий научный сотрудник, лаборатория георесурсоведения и политической географии, Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

E-mail: abalakovirk@mail.ru

Abalakov Alexander Dmitrievich

Doctor of geographical sciences, professor, sub-department of geocology, mapping and geoinformatics, Irkutsk State University (1 K. Marxa street, Irkutsk, Russia); leading researcher, the laboratory of georesource studies and political geography, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS (1 Ulan-Batorskaya street, Irkutsk, Russia)

Новикова Любовь Степановна

кандидат географических наук, ведущий инженер, Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

E-mail: abalakovirk@mail.ru

Novikova Lubov Stepanovna

Candidate of geographical sciences, leading engineer, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS (1 Ulan-Batorskaya street, Irkutsk, Russia)

Марышкин Даниил Игоревич

младший научный сотрудник, Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

E-mail: dmaryshkin@gmail.com

Maryshkin Daniil Igorevich

Junior researcher, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS (1 Ulan-Batorskaya street, Irkutsk, Russia)

УДК 504.54 (379.85)

Абалаков, А. Д.

Ландшафты научно-учебного полигона «Сарма» на Байкале /
А. Д. Абалаков, Л. С. Новикова, Д. И. Марышкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 78–90. DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-8

УДК 911.52

DOI: 10.21685/2307-9150-2017-3-9

С. Н. Артемова, Д. С. Иконников, С. П. Ломов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ И ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТОВ ВЕРХНЕГО ПОСУРЬЯ И ПРИМОКШАНЯ В ГОЛОЦЕНЕ¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Большое ландшафтное разнообразие и высокий природный потенциал северной лесостепи определяют особое место этого региона в экономике России как одного из важнейших сельскохозяйственных районов. В рамках разработки программы устойчивого развития региона важно восстановить границы и содержание коренных ландшафтов, изучить динамику и природу их трансформации. Чтобы понять закономерности развития природы в настоящем и дать обоснованный прогноз их развития на будущее, необходима реконструкция палеогеографических условий прошлых эпох. В голоцене сформировались зональные ландшафты и начались их антропогенные изменения. Целью настоящего исследования является выявление основных закономерностей развития ландшафтов территории Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене.

Материалы и методы. Исходными материалами для исследований явились: ландшафтная карта Пензенской области, картографический и архивный материал по геологии, почвам, климату, растительности и археологический материал изучаемой территории. Основными источниками информации об эволюции ландшафтов Пензенской области в голоцене явились данные, полученные в результате фундаментальных исследований изменения климата и растительности сопредельных территорий, отраженные в работах А. А. Величко, Е. Ю. Новенко, Н. В. Благовещенской, О. В. Смирновой, И. И. Спрыгина, Ф. Н. Милькова, Н. И. Пьявченко, Т. Б. Силаевой, А. А. Чигуряевой, В. С. Доктуровского. Историко-географический анализ развития ландшафтов проводился с использованием ретроспективного метода.

Результаты. Дана общая характеристика развития и динамики ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене. Выделены основные этапы становления коренных ландшафтов и их трансформации под влиянием хозяйственной деятельности. Проведен историко-географический анализ на уровне видов ландшафтов и типов местностей.

Выводы. На формирование современных ландшафтов оказали влияние геолого-геоморфологические процессы, изменения климата и хозяйственная деятельность в голоцене. Ранние периоды развития определяются особенностями литогенной основы и климата, а эволюция растительности согласуется с климатическими показателями, во второй половине голоцена наиболее важным фактором формирования ландшафтов является хозяйственная деятельность. Коренные ландшафты лесов и степей сформировались в среднем голоцене, а развитие их с участием антропогенного фактора началось 2500–3000 тыс. лет назад. Наиболее мощное воздействие хозяйственной деятельности и развитие деструктивных геоэкологических процессов начались с XVII в.

Ключевые слова: историко-географический анализ, голоцен, развитие и динамика ландшафтов, лесостепь, Верхнее Посурье и Примокшанье.

¹ Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (региональный конкурс). Проект № 17-11-58005 а(р).

GENERAL CHARACTERISTICS OF LANDSCAPE DEVELOPMENT AND DYNAMICS OF THE TERRITORY OF THE UPPER SURA RIVER AND MOKSHAN DISTRICT IN THE HOLOCENE

Abstract.

Background. A great landscape diversity and a high natural potential of the northern forest-steppe define a special place of this region in the Russian economy, as one of the most important agricultural regions. In the course of preparing a program of the region's sustainable development it is very important to restore borders and contents of indigenous landscapes and to study the dynamics and nature of the landscapes' transformation. To understand the laws of nature development in the present and give a reasonable estimate of their development for the future it is necessary to reconstruct the paleogeographic conditions of past eras. The Holocene is the period when zonal landscapes were shaped and their anthropogenic changes began. The aim of this study is to identify main regularities of development and dynamics of the territory of the Upper Sura river and Mokshan district landscapes in the Holocene.

Materials and methods. The initial materials for the study were: a landscape map of Penza region, cartographic and archival materials on geology, soils, climate, vegetation and archaeological materials of the area under consideration. The main sources of information on the evolution of the Penza region's landscape in the Holocene were the data obtained as a result of fundamental research of climate change and vegetation of adjacent territories, that were reflected in works by A. A. Velichko, E. Y. Novenco, N. V. Blagovecenskaya, O. V. Smirnova, I. I. Sprygin, F. N. Milkov, N. I. Pyavchenko, T. B. Silaeva, A. A. Chiguryaeva, V. S. Dokturovskiy. A historical and geographical analysis of the landscape development was performed using the retrospective method.

Results. The article gives general characteristics of development and dynamics of the territory of the Upper Sura river and Mokshan district landscapes in the Holocene. We identified the main stages of indigenous landscapes formation and their transformation under the influence of economic activities, as well as conducted the historical and geographical analysis at the level of landscape and terrain types.

Conclusions. Geological and geomorphological processes of climate fluctuation and economic activities in the Holocene affected the formation of modern landscapes. Early periods of development are determined by features of the lithogenic basis and climate, and the evolution of the vegetation is consistent with the climatic parameters. The most important factor of the formation of the landscapes in the second half of the Holocene is the economic activity. Indigenous forest and steppe landscapes were formed in the mid Holocene, and their development with the participation of the anthropogenic factor began 2500–3000 thousand years ago. The most powerful influence of economic activities and the development of destructive geo-ecological processes have occurred from the 17th century.

Key words: historical and geographical analysis, Holocene, development and dynamics of landscapes, forest-steppe, territory of the Upper Sura river and Mokshan district.

Введение

Изучение развития и динамики лесостепных ландшафтов в голоцене имеет большое значение для понимания современных геоэкологических процессов и разработки стратегии устойчивого развития регионов. С этого

периода исчисляется возраст современных лесостепных ландшафтов Пензенской области и начинается процесс их хозяйственного освоения. В рамках разработки программы устойчивого развития региона важно восстановить границы и содержание коренных ландшафтов, изучить динамику и природу их трансформации. В частности, имеет большое значение исследование хозяйственной деятельности человека как фактора, оказывающего влияние на ландшафты. Следует сказать, что роль человека в процессе формирования ландшафтной структуры изучена еще сравнительно слабо. Однако уже сейчас ясно, что эта роль велика и что изучение механизмов взаимодействия человека и природы является перспективным научным направлением.

Актуальность региональных палеогеографических исследований возрастает в связи с современными проявлениями глобального изменения климата и мощного антропогенного воздействия на природу. Так, по данным инструментальных исследований, в течение XX в. происходило глобальное потепление (почти на 1°) с незначительными периодами похолодания и изменения режима осадков, предположительно под влиянием антропогенного фактора. А по данным палеоклиматических исследований, климатический оптимум голоцена пройден 5 тыс. лет назад и сейчас естественный тренд климатической системы в сторону похолодания. Согласно опубликованным данным, за период инструментальных измерений климата, последнее потепление в лесостепи Русской равнины началось с периода 1930–1940-х гг., однако статистически значимые оценки коэффициента линейного тренда имеют минимальные значения (менее 0,03° за 10 лет) [1]. С другой стороны, произошло смещение многих дат сезонных явлений: вскрытие рек наступает раньше на 4–11 дней, ледостав происходит позднее на 15–20 дней. В одних районах лесостепи наблюдается возрастание тепловлагообеспеченности, в других – рост засушливости. Разнонаправленное воздействие на ландшафтно-климатическую систему (природное и антропогенное) отрицательно влияет на ее устойчивость.

Целью настоящего исследования является выявление основных закономерностей развития ландшафтов территории Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене. Период голоцена был выбран в связи с тем, что именно на этом этапе сформировались современные черты всех компонентов природы и в целом зональные ландшафты. Антропогенные изменения ландшафтов также полностью укладываются в период голоцена. Территория Верхнего Посурья и Примокшанья занимает большую часть Пензенской области и южные районы Мордовии и характеризуется общностью истории заселения и хозяйственного освоения.

Исследуемая территория относится к лесостепной ландшафтной зоне, к провинции «Лесостепь Приволжской возвышенности» и захватывает на западе контактную зону с лесостепью Окско-Донской низменности. Сложная и контрастная картина ландшафтной организации в пределах региона обусловлена рубежным положением исследуемой территории: на границе Окско-Донской равнины и Приволжской возвышенности, на водоразделе Волги и Дона, на границе северной и южной лесостепи, в пределах перегляциальной области валдайского ледника. Такая позиция способствовала формированию следующих видов ландшафтов: 1 – хвойно-широколиственные леса на водно-ледниковых равнинах Окско-Донской низменности; 2 – лесостепные

ландшафты вторично-моренных равнин низкого плато Приволжской возвышенности; 3 – лесостепные ландшафты эрозионно-денудационных равнин высокого плато Приволжской возвышенности; 4 – долинные ландшафты. Их морфологическая структура отражена на ландшафтной карте Пензенской области [2].

Материалы и методы

Эволюция ландшафтных систем является сложным и многогранным процессом, на который оказывают влияние различные факторы. Поэтому исследование процесса ландшафтообразования может осуществляться только комплексно с использованием различных методов. В ходе работы авторы столкнулись с рядом проблем методического характера, большая часть которых связана с тем, что единый подход к вопросам исследования еще не разработан. Это обуславливает экспериментально-методическое значение нашей работы. Остановимся на некоторых из этих проблем.

Прежде всего ретроспектива и прогнозирование эволюции зональных экосистем в изменяющихся условиях затруднены отсутствием адекватных методов анализа. Наиболее значимым научным методом прогнозирования является метод палеогеографических реконструкций при интерпретации современной динамики экосистем. Еще одна проблема, с которой неизбежно сталкиваются исследователи, работающие в данном направлении, состоит в том, что участки природных экосистем сохранились лишь на территории заповедников. Выражаясь образно, они оказались «островами» в окружении индустриальных и аграрных ландшафтов и не могут развиваться автономно. Они неустойчивы, и любые изменения условий окружающей среды (изменение климата, трансграничный перенос загрязняющих веществ и др.) могут привести к существенной трансформации биоразнообразия на изолированной заповедной территории.

Кроме того, изменения, происходящие в экосистемах, не всегда могут быть интерпретированы однозначно. В качестве примера можно привести следующее: многолетние наблюдения на заповедных степных участках Пензенской области указывают на мезофитизацию травяной растительности водораздельных поверхностей, увеличение площади лесов и кустарников, изменение ландшафтной структуры под воздействием эрозионных процессов [3]. С чем связаны эти изменения: может быть, с современными изменениями климата или с тем, что нарушена видовая структура экосистемы, в частности, исчезли многие виды животных?

Историко-географический анализ развития ландшафтов Пензенской области проводился с использованием ретроспективного метода, основанного на структурно-генетических, наследственных характеристиках морфологических частей ландшафтов и его компонентов и, в целом, на палеоисторических аспектах становления структуры ландшафта. Важные данные об эволюции ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене были получены с использованием экстраполяции данных. Например, широко использовались данные реконструкции климата древних эпох и зональной структуры ландшафтов в северном полушарии за последние 130 тыс. лет (поздний плейстоцен – голоцен), полученные в результате фундаментальных исследований в Институте географии РАН под руководством А. А. Величко [4]. Среди

материалов, которые были привлечены авторами для сопоставительного анализа, можно назвать результаты современных палеогеографических исследований на территории Среднерусской возвышенности (работы, опубликованные по итогам экспедиций по исследованию верховых болот на Куликовом поле под руководством Е. Ю. Новенко). Эти материалы позволили провести сравнение данных спорово-пыльцевого анализа болотных отложений на территории Среднерусской и Приволжской возвышенности [5]. Большой интерес представляет работа Е. Ю. Новенко по реконструкции ландшафтно-климатических изменений в лесной зоне Центральной и Восточной Европы [6].

Для реконструкции истории палеоландшафтов авторами были привлечены практически все доступные в настоящее время материалы по географии и истории исследуемой территории. К сожалению, история растительного покрова Пензенской области изучена крайне слабо. Заслуживают внимания работы А. А. Чигуряевой (1941). Она исследовала «Ивановские торфяники», которые расположены на южных склонах Приволжской возвышенности в Лопатинском районе Пензенской области. Это верховые болота, в которых изучены торфяные залежи [7]. В. С. Доктуровским (1925) был исследован торфяник Леонидовский, расположенный у г. Пензы [8]. В. С. Пьявченко (1958) изучал верховые болота Мордовии в пределах лесостепи Приволжской возвышенности [9]. К сожалению, эти данные приблизительные в связи с отсутствием на тот период радиоуглеродного датирования отложений. Корреляция событий приведена в книге Н. А. Хотинского «Голоцен Северной Евразии» (1977) [10].

Закономерности развития растительности в пределах Верхнего Посурья в голоцене авторы выделили на основе работы Н. В. Благовещенской, проводившей палеогеографическую реконструкцию в центральной части Приволжской возвышенности на основе сочетания спорово-пыльцевого метода с методом исследования палеорастительности. В частности, район ее исследований включал большую часть лесостепных ландшафтов эрозионно-денудационных равнин высокого плато Приволжской возвышенности (восточная и юго-восточная часть Пензенской области) [11, 12].

Для оценки роли антропогенного фактора в формировании ландшафтов Пензенской области большое значение имеют исследования лесов Приволжской возвышенности Т. Б. Силаевой (2006) [13]. В своих работах автор делает вывод о существенной трансформации растительности лесов с началом земледелия около 2500 лет назад. Кроме того, большой интерес для нас представляют работы И. И. Спрыгина по Пензенской области [14], работы Ф. Н. Милькова по северной лесостепи [15], а также местные археологические материалы. При реконструкции растительности прошлого широко использовался картографический материал по геологии, почвам, климату, растительности изучаемой территории, а также материалы ранее проведенных исследований [16].

Большой интерес представляли также результаты фундаментальных исследований изменений биоценозов всей лесной и лесостепной зоны европейской части России в голоцене под руководством профессора О. В. Смирновой [17]. Историко-геоэкологический анализ ранних этапов освоения территории проведен на основании архивных источников и публикаций историков [18, 19].

Обобщенный анализ всех данных об изменении ландшафтной структуры исследуемой территории в голоцене сопоставлялся с современной ландшафтной картой.

Результаты и обсуждение

Голоцен – это последний отдел четвертичного периода, время последнего межледникового (начало голоцена 11 700 календарных лет назад). В периодизации голоцена чаще всего используется климатостратиграфическая шкала Блитта – Сернандера, созданная в начале XX в. и уточненная в 1940–1950 гг. благодаря палинологическим исследованиям. А. Блитт (Норвегия) назвал период голоцена с более сухими и континентальными условиями бореальным, а период с более влажными океаническими условиями – атлантическим. Ключевые временные отрезки – «хроносрезы» климата голоцена палеоклиматологи определяют радиоуглеродным датированием.

Современные достижения палеогеографии позволили внести уточнения в решение спорных вопросов об эволюции лесостепных ландшафтов. Так, некоторые исследователи (Сукачев, 1903, Гордягин 1933, Комаров 1951 и др.) считали, что степь в пределах Приволжской возвышенности образовалась в результате сведения человеком сосновых и сосново-широколиственных лесов. Однако современные палинологические и радиоуглеродные данные показывают существование доагрикультурных степей всех видов, а окончательно современные степи сформировались в раннеатлантическом периоде [12].

Спорным остается вопрос о миграции широколиственных видов деревьев в атлантический период в северную лесостепь (с юго-запада или из рефугиумов на юге Приволжской возвышенности). Реконструкция палеоклимата учеными Института географии РАН, находки пыльцы широколиственных видов в отложениях древнего голоцена, скорость распространения широколиственных видов и другие доказательства дают основание предполагать, что во время последнего оледенения не произошло полное уничтожение растительности, в перегляциальной области находились многочисленные рефугиумы, где широколиственные виды могли сохраняться [20]. В период климатического оптимума широколиственные виды деревьев мигрировали из пойм на водоразделы Приволжской возвышенности.

Реконструкция климата и растительности голоцена на Восточно-Европейской равнине в пределах лесной зоны Центральной и Восточной Европы позволила сделать вывод о том, что на границе лесной зоны и северной лесостепи в первой половине голоцена происходило быстрое потепление и смена холодной степи березовыми и сосново-березовыми лесами, а вторая половина характеризуется короткопериодными и резкими климатическими колебаниями на фоне общего похолодания [6]. Эволюция растительности первой половины голоцена согласуется с климатическими показателями, тогда как во второй половине среди факторов изменения растительности наиболее важным является хозяйственная деятельность.

Ретроспективный анализ развития и динамики ландшафтов в пределах Верхнего Посурья и Примокшанья проведен на основе работ Н. И. Пьявченко (1948), В. С. Доктуровского (1925), А. А. Чигуряевой (1941), Н. В. Благовещенской (2009) и отражен в табл. 1.

Таблица 1

Основные этапы развития ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене

Период (лет назад)	Хроно-зона, (климат)	Ландшафты Верхнего Посурья и Примокшанья
1	2	3
Современный 500		Обезлесение. Агрландшафты на месте степей и лесов. Отсутствует пихта. <i>Степень воздействия антропогенных факторов достигает своего максимума.</i>
Поздний голоцен 500–2500 Железный век (500–2700 лет)	Субатлан- тический (холодный влажный)	Увеличение доли вторичных лесов и монокультуры сосновых насаждений. Уменьшение лесобразующей роли широколиственных пород, ольхи; усиление роли сосны, особенно на песках, есть ель, пихта. (SA-2): увеличение сосновых и березово-сосновых лесов. Увеличилась площадь вторичных степей (злаково-разнотравные и ковыльно-разнотравные). (SA-1): усиление роли антропогенного фактора в сокращении лесов. Время формирования лесостепи с современной растительностью. Преобладание вторичных лесов и степей. Увеличение агроценозов. Увеличение площади болот и их биологической продуктивности (2500–700 л.н.). <i>Усиление антропогенного воздействия на структуру растительности. Широкое распространение земледелия: подсечно-огневого (в I тыс. н.э.) и пашенного (во II тыс. н.э.).</i>
Средний голоцен 2500–7700 Энеолит (5000–7000) Бронзовый век 2700–5000 лет)	Суббореальный (сухой и теплый)	Лесостепь. Березово-сосновые леса, дубравы, лугово-степные ландшафты. Усыхание болот, замена их лесом. Сосновые леса на песках. Флора обогащается степными видами. (SB-3): роль сосны ведущая. Уменьшение широколиственных пород и ольхи, особенно на водно-ледниковых равнинах и на боровых террасах в долинах крупных рек. (SB-2): сокращение лесов из-за похолодания. Сосново-широколиственные леса изреживаются, господствуют сосновые. На юге господствуют степи, где преобладают дерновинно-злаковые ценозы, появляются агроценозы. Болота усыхают, часты пожары (3200–2500 л.н.). (SB-1): господство широколиственных пород во всех лесах (климатический оптимум). В конце периода происходит иссушение, и преобладают сосново-березово-широколиственные, дубравные, сосново-березовые леса. Постепенно болота усыхают и заменяются лесом. Увеличивается доля луговых, каменистых и песчаных степей. Увеличивается количество сорных видов (4500–3200 л.н.). <i>Постепенный переход от присваивающего типа хозяйства к производящему. Распространение скотоводства (кочевого и оседлого), первые попытки освоения земледелия. Увеличение плотности населения и повышение значимости антропогенных ландшафтообразующих факторов.</i>

Окончание табл. 1

1	2	3
<p>Ранний голоцен 7700–9800 <i>Мезолит</i> 300–9300 10 000–10 300</p>	<p>Атлантический (климатический оптимум)</p>	<p>Лесостепь. Сосново-березовые леса с участием широколиственных пород на приводораздельные пространства. Усиление роли разнотравья в степных комплексах Приволжской возвышенности. (АТ-2): на большей части Пензенской области господствуют леса. Широколиственные породы мигрируют из пойма на водоразделы вторичных моренных и эрозивно-денудационных равнин. Повсеместно распространены сосново-широколиственные и широколиственные леса, а на севере – сосново-елово-широколиственные. Широколиственные породы распространяются и на водно-ледниковую равнину. В пределах эрозивно-денудационных равнин в Засурье сплошная лесистость, на юге площадь леса и степи равны. В луговых степях вторично-моренных и эрозивно-денудационных равнин господствуют разнотравные сообщества. От 6000 до 4500 л.н. – время климатического оптимума, происходит интенсивный процесс заболачивания и торфонакопления, в том числе на водоразделах. (АТ-1): время формирования лесного растительного покрова. Увеличение сосново-березовых и крупнотравных березовых лесов. На водно-ледниковых равнинах Окско-Донской низменности господствуют сосново-березовые леса с участием ольхи. Появление широколиственных пород в лесах вторичных моренных и эрозивно-денудационных равнин Приволжской возвышенности в поймах. Окончательно сформировались все виды степей, появились рудеральные сорняки. Большинство пойменных болот образовались от 8000 до 6000 л.н. <i>Первые достоверные свидетельства заселения региона людьми (период неолита). Господство присваивающего типа хозяйства. Постепенное увеличение численности населения и повышение значения антропогенных ландшафтотобразующих факторов.</i></p>
<p>Ранний голоцен 7700–9800 <i>Мезолит</i> 300–9300 10 000–10 300</p>	<p>Бореальный (потепление на фоне периодических похолоданий, уменьшение континентальности)</p>	<p>Пастбищные плакоты трансформируются в древесные (детритовые). (ВО-2): увеличение лесистости, господство сосновых, березово-сосновых лесов; широкое распространение настоящих луговых степей (злаково-разнотравных и дерновинно-злаковых; образование водораздельных болот (8500 до 8000 л.н.). (ВО-1): лесостепь: сосновые и березово-сосновые леса на севере, в южных районах – остепненные леса из березы и степи (попынно-марево-злаковые, злаково-разнотравные, каменистые). Образуются пойменные болота. <i>Не прослеживается заметного воздействия антропогенных факторов.</i></p>
<p>Древний голоцен 11 000–12 000</p>	<p>Дриас Аллеред (климат холодный)</p>	<p>Березовая лесостепь с ксерофитными травянистыми растениями. (DR-3): преобладают попынно-маревые степи в холодной перелюдиальной области, встречаются кустарники из ивы и березы, реже редколесья из сосны и березы, иногда ельники; господство хвойей. <i>Не прослеживается следов воздействия антропогенных факторов.</i></p>

В эпоху последнего валдайского оледенения исследуемая территория была в экстрагляциальной области, и здесь функционировали природные комплексы холодных полярно-маревых степей. В условиях быстрого потепления в древнем и раннем голоцене происходили значительные изменения ландшафтной структуры в пределах лесостепи Приволжской возвышенности: таяние мерзлотных грунтов и формирование мезо- и микроформ рельефа, образование термокарстовых озер, активизация иллювиальных процессов почвообразования, увеличение лесной растительности (преимущественно из сосны и березы), исчезновение тундровых животных и распространение лесных обитателей (бурый медведь, лиса, лось, волк, речной бобр, глухарь и др.).

Люди появились на территории Верхнего Посурья и Примокшанья не позднее неолитического периода. Хотя в Среднем Поволжье обнаружены следы пребывания людей в эпоху палеолита (около 100 тыс. лет назад), в Пензенском крае стоянок не обнаружено. На границе раннего и среднего голоцена (в археологии – поздний мезолит) население на исследуемой территории было немногочисленное (во всем Среднем Поволжье 2–3 тыс. человек). Селились в основном в речных долинах: на террасах, в устьях малых рек. Заметного влияния на леса не оказывали, в спорово-пыльцевых спектрах сорных видов не обнаружено.

В среднем голоцене формируется современная структура литогенной основы ландшафтов. Это время образования болот с торфяными залежами на месте древних озер, залежей мореного дуба в поймах рек в результате образования древесных заломов в руслах рек, развития почв с дифференцированным профилем, распространения широколиственных лесов и типичных животных лесов и лесостепей. Начиная с атлантического периода наступает фаза климатического оптимума (наиболее ярко выражен к началу суббореального периода 4500 лет назад), когда температура была выше современной на 2–3° и климат в целом был менее континентальным. На Приволжской возвышенности господствовали леса (в раннеатлантическом периоде (8000 лет назад) – березовые и березово-сосновые, а в познеатлантическом (6000 лет назад) – широколиственные). На высоком плато в условиях хорошего дренажа формировались сосново-дубовые леса, на речных террасах – луговые степи, на склонах южной экспозиции и на выходах коренных пород палеогена – каменистые, а по древним ложбинам стока – песчаные степи. Это время формирования дифференцированного профиля лугово-черноземных и серых лесных почв и господства сосново-широколиственных и широколиственных лесов, которые занимали большую площадь исследуемой территории и обладали высоким природно-ресурсным потенциалом для людей.

Уже в раннеатлантическом периоде (около 6500 лет назад) в спорово-пыльцевых спектрах появляется пыльца сорных (рудеральных) видов растений, что свидетельствует о значительной хозяйственной деятельности первых общин людей. На территории Пензенской области были зафиксированы следующие археологические культуры: среднедонская (V – середина IV тыс. до н.э.), волго-камская (IV тыс. до н.э.), балахнинская (середина IV – середина III тыс. до н.э.) (Неолит Северной Евразии, 1996, с. 63, с. 187, с. 252, с. 378). Хозяйственная деятельность населения этих культур, вероятнее всего, сводилась к охоте, рыболовству и собирательству, т.е. занятиям, характерным для присваивающего хозяйства. Развитие охоты и рыболовства приводило

к изменениям в численности отдельных видов животных, строительство жилищ требовало расчистки отдельных площадей от леса, употребление огня приводило к возникновению пожаров, которые оказывали существенное влияние на растительность и на структуру почвы [21].

В суббореальный период (энеолит и бронзовый век) происходит иссушение климата и незначительное похолодание. Засухи и понижение уровня грунтовых вод привели к уменьшению продуктивности степей, что способствовало массовому переселению скотоводов-степняков в леса. Происходит значительное увеличение заселенности региона, о чем свидетельствует появление пыльцы сорных и культурных растений в спорово-пыльцевых спектрах данного времени, хотя доля их остается незначительной. В энеолите, в период существования волосовской (конец III – последняя четверть II тыс. до н.э.) и имерской (III тыс. до н.э.) культур (Эпоха бронзы..., 1987, с. 13), начали предприниматься попытки обработки металлов. Это не могло не привести к тому, что расширилась заготовка дров, используемых как топливо. Кроме того, у волосовского населения широко распространились деревянные постройки [19]. Возможно, в этот период впервые в истории региона начали практиковаться более или менее масштабные рубки леса, которые могли приводить к изменениям свойства почвы и гидрологического режима [21]. По-видимому, переход к производящему хозяйству в регионе начался в бронзовом веке. Вероятнее всего, его начало относилось ко второй половине II – началу I тыс. до н.э. и было связано с племенами балановской археологической культуры. Балановцы, по археологическим данным, были оседлыми скотоводами, разводившими крупный рогатый скот, свиней, лошадей и в сравнительно небольших масштабах мелкий рогатый скот. Ряд исследователей предполагает, что носители балановской культуры были знакомы с подсечно-огневым земледелием, но прямых доказательств тому нет [19]. Не исключено также, что первыми носителями животноводческих традиций в регионе было население, относившееся к так называемой абашевской культуре (вторая-третья четверть II тыс. до н.э.). Большинство исследователей характеризовало хозяйство этой культуры как скотоводческое [19]. Вероятнее всего, в регионе в бронзовом веке преобладал лесной выпас скота, нельзя также исключить возможность выжигания лесов под пастбища. Все это оказывало существенное влияние на природный ландшафт [21].

Переход от присваивающего типа хозяйства к производящему означал собой усиление антропогенного влияния на природу, так как в это время человек переходит к более или менее осознанному преобразованию ландшафта. Еще сильнее это влияние усилилось с распространением земледелия [21]. Появление земледелия в регионе относилось либо к позднему бронзовому веку, либо к раннему железному веку. Точнее определить время появления этой отрасли хозяйства в регионе на основе имеющихся археологических данных не представляется возможным. Первыми носителями земледельческих традиций здесь могли быть либо представители срубной культурно-исторической области (середина II тыс. до н.э. – начало I тыс. до н.э.), либо городецкой культуры (середина I тыс. до н.э. – первые века н.э.) [22]. Это время массового заселения Среднего Поволжья с его благоприятными условиями для подсечно-огневого земледелия и крупными реками для установления связей между общинами. Несмотря на это, значительного сокращения

лесов не происходило, так как хватало ресурсов открытых пространств с плодородными черноземными почвами.

Поздний голоцен – время сокращения лесов и значительного влияния хозяйственной деятельности на ландшафты. К началу субатлантического периода (2500 тыс. лет назад) происходит резкое изменение климата в сторону похолодания и увеличения влажности и, как следствие, поднятию уровня грунтовых вод. Это ведет к изменению растительности в сторону сокращения широколиственных и увеличения сосново-березовых лесов и увеличения степных ландшафтов. В целом господствуют ландшафты лесостепи. Несмотря на то, что климатические условия способствуют распространению лесов, сокращение их площади происходит за счет распашки и освоения земель, о чем свидетельствует пыльца культурных злаков. Причем лес выжигали и вырубали, что привело к полной замене лесных ландшафтов на степные в районах постоянной пахоты черноземов или к смене видового состава леса после распашки менее плодородных почв. В период Средневековья земледелие становится основным занятием местного населения. В I тыс. н.э., вероятнее всего, преобладало подсечно-огневое земледелие, во II тыс. – пашенное [22, 23].

Значительное сокращение антропогенного воздействия 700–300 лет назад связано с изменением климата в сторону похолодания («малый ледниковый период») и опустошительными набегами монгольских завоевателей. Это привело к увеличению площади лесов и восстановлению черноземов («дикое поле»). Господствовали сосновые, реже сосново-березово-широколиственные леса, которые, по-видимому, первые исследователи приняли за коренные. На нижнем плато Приволжской возвышенности и на склонах водоразделов верхнего плато развивались первичные и вторичные степи.

После присоединения Казанского (1552) и Астраханского (1556) ханств регион вошел в состав Русского государства. На протяжении XVII в. идет активная колонизация Верхнего Посурья и Примокшанья русскими переселенцами из других районов страны. В это время значительно увеличилась плотность населения, что резко усилило воздействие антропогенных факторов на природную среду. Это воздействие еще больше усиливается в новое время, с увеличением численности населения, расширением площадей распашки и промышленным переворотом. Вновь сокращается площадь лесов, степные ландшафты почти полностью заменяются на сельскохозяйственные, лишь в последнее столетие площадь лесов восстанавливается за счет посадок. В этот период значение антропогенных факторов становится чрезвычайно велико, а характер их воздействия на окружающую природу становится все более и более разнообразным.

Заключение

На развитие и динамику ландшафтов Верхнего Посурья и Помокшанья в голоцене оказали влияние как внешние факторы (эндогенные процессы, изменение климата, хозяйственная деятельность), так и внутренние (экзогеодинамические процессы, распространение растений и животных). Четыре генетические группы ландшафтов исследуемой территории имеют разную историю развития в голоцене и обладают разным природно-ресурсным потенциалом для современного освоения. Комплексный историко-географический

анализ развития ландшафтов с использованием ретроспективного метода палеогеографии и археологии позволили сделать следующие выводы:

1. Голоцен – период развития ландшафтов, образованных в палеогене и неоген-четвертичное время в пределах Приволжской возвышенности и Окско-Донской низменности. Окончательное формирование современной структуры литогенной основы на уровне видов ландшафтов произошло к концу среднего голоцена – 3,5 тыс. лет назад.

2. Ранние периоды развития определяются особенностями литогенной основы и климата, а эволюция растительности согласуется с климатическими показателями, во второй половине голоцена наиболее важным фактором формирования ландшафтов является хозяйственная деятельность.

3. Основные фазы сукцессии растительности: степная – в древнем голоцене, лесостепная – в бореальном, лесная в атлантическом и суббореальном, лесостепная в субатлантическом. Коренными лесными сообществами можно считать: сосново-широколиственные, березовые, березово-сосновые, широколиственные, сосново-елово-широколиственные. Коренные степные сообщества: луговые степи (ковыльные, разнотравно-злаковые, дерновинно-злаковые) и каменистые степи.

4. На протяжении всего позднего голоцена на территории Верхнего Понурья и Примокшанья наблюдалось постоянно возрастающее влияние антропогенных факторов ландшафтообразования. Господство агроценозов в степных ландшафтах началось около 3000 лет назад (позднесуббореальный период). Появление вторичных лесных формаций и сокращение площади лесов началось около 2500 лет назад (начало субатлантического периода). Переломным этапом можно считать XVII в., когда происходило массовое освоение территории и к настоящему времени почти на всей территории естественные растительные сообщества уничтожены и заменены вторичными лесами, агроландшафтами и застроенными территориями.

Библиографический список

1. **Минин, А. А.** Взаимосвязи и пространственно-временная изменчивость состояний климата и наземных экосистем Русской равнины : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Минин А. А. – М., 1995. – 36 с.
2. Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области / А. А. Ямашкин, С. Н. Артемова, Л. А. Новикова, Н. А. Леонова, Н. С. Алексеева // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 1. – С. 49–57.
3. **Чистякова, А. А.** Современная тенденция развития луговых степей Среднего Поволжья / А. А. Чистякова, Л. А. Новикова, Г. Р. Дюкова, А. Н. Чебураева // Изучение и охрана биологического разнообразия ландшафтов Русской равнины : сб. материалов Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию Пензенского заповедника. – Пенза : Приволжский дом знаний, 1999. – С. 12–15.
4. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен-голоцен / под ред. А. А. Величко. – М., 2009. – 120 с.
5. Динамика ландшафтов и климата бассейна Верхнего Дона в позднем голоцене / Е. Ю. Новенко, Е. М. Волкова, М. П. Гласко, И. С. Зюганова, О. В. Бузова // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 2. – С. 68–83.
6. **Новенко, Е. Ю.** Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов / Е. Ю. Новенко. – М. : ГЕОС, 2016. – 228 с.

7. **Чегуряева, А. А.** Ивановские торфяники / А. А. Чегуряева // Ученые записки Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Сер.: Биологическая. – 1941. – Т. 15, вып. 7. – С. 3–82.
8. **Доктуровский, В. С.** О торфяниках Пензенской губернии / В. С. Доктуровский // Труды по изучению заповедников. – М. : Изд-во Главнауки, 1925. – Вып. 3. – С. 1–15.
9. **Пьявченко, Н. И.** Торфяники русской лесостепи / Н. И. Пьявченко. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – 191 с.
10. **Хотинский, Н. А.** Голоцен Северной Евразии: опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата: к X Конгрессу INQUA (Великобритания, 1977) : моногр. / Н. А. Хотинский. – М. : Наука, 1977. – 200 с.
11. **Благовещенская, Н. В.** Динамика лесных экосистем верхнего плато Приволжской возвышенности в голоцене / Н. В. Благовещенская // Экология. – 2006. – № 2. – С. 83–88.
12. **Благовещенская, Н. В.** История растительности центральной части Приволжской возвышенности в голоцене : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.16 / Благовещенская Н. В. – Ульяновск, 2009. – 665 с.
13. **Силаева, Т. Б.** Флора бассейна реки Суры (современное состояние, антропогенная трансформация и вопросы охраны) : дис. ... д-ра биол. наук / Силаева Т. Б. – М., 2006. – 907 с.
14. **Спрыгин, И. И.** Борьба леса со степью в Пензенской губернии / И. И. Спрыгин. – Пенза : Пензенское губземуправление, 1922. – 20 с.
15. **Мильков, Ф. Н.** Лесостепь Русской равнины. Опыт ландшафтной характеристики / Ф. Н. Мильков. – М. : Изд-во АН СССР, 1950. – 296 с.
16. **Ломов, С. П.** Эоловые экосистемы (памятники неолита), современные и погребенные почвы в поймах бассейна р. Сура в голоцене / С. П. Ломов, Н. Н. Солодков. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 167 с.
17. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн. 1 / отв. ред. О. В. Смирнова. – М. : Наука, 2004. – 479 с.
18. Неолит Северной Евразии / отв. ред. С. В. Ошибкина. – М. : Наука, 1996. – 377 с.
19. Эпоха бронзы лесной полосы СССР / отв. ред. О. Н. Бадер, Д. А. Крайнов, М. Ф. Косарев. – М. : Наука, 1987. – 470 с.
20. Палеогеографическая основа современных ландшафтов: результаты российско-польских исследований / А. А. Величко, Л. Старкель, К. Тобольский [и др.]. – М. : Наука, 1994. – 204 с.
21. **Бобровский, М. В.** Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования / М. В. Бобровский. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 359 с.
22. **Иконников, Д. С.** Периодизация истории средневекового земледелия Верхнего Посурья и Примокшанья (в связи с вопросом об истории землепользования) // Современные концепции экологии биосистем, их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования : материалы Всерос. (с междунар. участием) науч. шк.-конф., посвящ. 115-летию со дня рождения А. А. Уранова (г. Пенза, 10–14 мая 2016 г.) / Д. С. Иконников. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С. 311–314.
23. **Иконников, Д. С.** К вопросу о земледелии Верхнего Посурья и Примокшанья до конца I тыс. н.э. по данным археологии / Д. С. Иконников, В. В. Ставицкий // Природное наследие России : сб. науч. ст. Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию национального заповедного дела и Году экологии в России (г. Пенза, 23–25 мая 2017 г.) / под ред. Л. А. Новиковой. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – С. 345–347.

References

1. Minin A. A. *Vzaimosvyazi i prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' sostoyaniy klimata i nazemnykh ekosistem Russkoy ravniny: avtoref. dis. d-ra biol. nauk* [Interconnections and space-time changeability of the climate and ground ecosystems in the Russian

- Plain: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow, 1995, 36 p.
2. Yamashkin A. A., Artemova S. N., Novikova L. A., Leonova N. A., Alekseeva N. S. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology]. 2011, no. 1, pp. 49–57.
 3. Chistyakova A. A., Novikova L. A., Dyukova G. R., Cheburaeva A. N. *Izuchenie i okhrana biologicheskogo raznoobraziya landshaftov Russkoy ravniny: sb. materialov Mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 80-letiyu Penzenskogo zapovednika* [Study and protection of the landscape biological diversity of the Russian Plain: proceedings of the International scientific conference devoted to the 80th anniversary of the Penza nature reserve]. Penza: Privolzhskiy dom znaniy, 1999, pp. 12–15.
 4. *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya. Pozdnyy pleystotsen-golotsen* [Paleo climates and paleolandscapes of extratropical area of the northern hemisphere. The late Pleistocene-Holocene]. Ed. by A. A. Velichko. Moscow, 2009, 120 p.
 5. Novenko E. Yu., Volkova E. M., Glasko M. P., Zyuganova I. S., Burova O. V. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of RAS. Series: Geography]. 2013, no. 2, pp. 68–83.
 6. Novenko E. Yu. *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Tsentral'noy i Vostochnoy Evropy v pozdnem pleystotsene i golotsene v mezhlednikovye i perekhodnye etapy klimaticheskikh makrotsiklov* [Vegetation and climate changes of Central and Eastern Europe in the late Pleistocene and Holocene during interglacial and transitional stages of climate macrocycles]. Moscow: GEOS, 2016, 228 p.
 7. Cheguryaeva A. A. *Uchenye zapiski Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. G. Chernyshevskogo. Ser.: Biologicheskaya* [Proceedings of Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky. Series: Biology]. 1941, vol. 15, iss. 7, pp. 3–82.
 8. Dokturovskiy V. S. *Trudy po izucheniyu zapovednikov* [Works on nature reserve studies]. Moscow: Izd-vo Glavnauki, 1925, iss. 3, pp. 1–15.
 9. P'yavchenko N. I. *Torfyaniki russkoy lesostepi* [Peat swamps of the Russian forest-steppe]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958, 191 p.
 10. Khotinskiy N. A. *Golotsen Severnoy Evrazii: opyt transkontinental'noy korrelyatsii etapov razvitiya rastitel'nosti i klimata: k X Kongressu INQUA (Velikobritaniya, 1977): monogr.* [The Holocene in Northern Eurasia: the experience of transcontinental correlation of vegetation and climate development stages: for X INQUA Congress (Great Britain, 1977)]. Moscow: Nauka, 1977, 200 p.
 11. Blagoveshchenskaya N. V. *Ekologiya* [Ecology]. 2006, no. 2, pp. 83–88.
 12. Blagoveshchenskaya N. V. *Istoriya rastitel'nosti tsentral'noy chasti Privolzhskoy vozvshennosti v golotsene: dis. d-ra biol. nauk: 03.00.16* [The vegetation history of the central part of the Volga Upland in the Holocene: dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Ulyanovsk, 2009, 665 p.
 13. Silaeva T. B. *Flora basseyna reki Sury (sovremennoe sostoyanie, antropogennaya transformatsiya i voprosy okhrany): dis. d-ra biol. nauk* [The Sura river basin flora (contemporary condition, anthropogenic transformation and preservation issues): dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow, 2006, 907 p.
 14. Sprygin I. I. *Bor'ba lesa so step'yu v Penzenskoy gubernii* [The struggle between the forest and the steppe in Penza province]. Penza: Penzenskoe gubernupravlenie, 1922, 20 p.
 15. Mil'kov F. N. *Lesostep' Russkoy ravniny. Opyt landshaftnoy kharakteristiki* [The Russian Plain's forest-steppe. The landscape characteristics experience]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1950, 296 p.

16. Lomov S. P., Solodkov N. N. *Eolovye ekosistemy (pamyatniki neolita), sovremennyye i pogrebennyye pochvy v poymakh basseyna r. Sura v golotsene* [Eolian ecosystems (monuments of the late Stone Age), contemporary and buried soils in the Sura river basin's flood plains in the Holocene]. Penza: PGUAS, 2014, 167 p.
17. *Vostochnoevropeyskie lesa: istoriya v golotsene i sovremennost'. Kn. 1* [East European forests: the history in the Holocene and modern times. Book 1]. Execut. by O. V. Smirnova. Moscow: Nauka, 2004, 479 p.
18. *Neolit Severnoy Evrazii* [The late Stone Age in Northern Eurasia]. Execut. by S. V. Oshibkina. Moscow: Nauka, 1996, 377 p.
19. *Epokha bronzy lesnoy polosy SSSR* [The Bronze Age in the forest zone of USSR]. Execut. O. N. Bader, D. A. Kraynov, M. F. Kosarev. Moscow: Nauka, 1987, 470 p.
20. Velichko A. A., Starkel' L., Tobol'skiy K. et al. *Paleogeograficheskaya osnova sovremennykh landshaftov: rezul'taty rossiysko-pol'skikh issledovaniy* [The paleogeographical basis of contemporary landscapes: results of the Russian-Polish research]. Moscow: Nauka, 1994, 204 p.
21. Bobrovskiy M. V. *Lesnye pochvy Evropeyskoy Rossii: bioticheskie i antropogennyye faktory formirovaniya* [Forest soils of European Russia: biotic and anthropogenic factors of formation]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 359 p.
22. Ikonnikov D. S. *Sovremennyye kontseptsii ekologii biosistem, ikh rol' v reshenii problem sokhraneniya prirody i prirodopol'zovaniya: materialy Vseros. (s mezhdunar. uchastiem) nauch. shk.-konf., posvyashch. 115-letiyu so dnya rozhdeniya A. A. Uranova (g. Penza, 10–14 maya 2016 g.)* [Contemporary conceptions of biosystem ecology, their role in environmental preservation and nature management issues: proceedings of the All-Russian (with international participation) scientific school-conference devoted to the 115th jubilee of A. A. Uranov (Penza, 10th–14th May 2016)]. Penza: Izd-vo PGU, 2016, pp. 311–314.
23. Ikonnikov D. S., Stavitskiy V. V. *Prirodnoe nasledie Rossii: sb. nauch. st. Mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 100-letiyu natsional'nogo zapovednogo dela i Godu ekologii v Rossii (g. Penza, 23–25 maya 2017 g.)* [The natural heritage of Russia: proceedings of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the national nature reserve management and the Year of Ecology in Russia (Penza, 23rd–25th May 2017)]. Penza: Izd-vo PGU, 2017, pp. 345–347.

Артемова Серафима Николаевна

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

E-mail: art-serafima@yandex.ru

Artemova Serafima Nikolaevna

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

Иконников Дмитрий Сергеевич

доктор исторических наук, кафедра
анатомии человека, заведующий
антропологической лабораторией
кафедры анатомии человека, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: ikonnikof-ds@mail.ru

Ikonnikov Dmitry Sergeevich

Doctor of historical sciences,
sub-department of human anatomy, head
of the anthropological laboratory
of the sub-department of human anatomy,
Penza State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Ломов Станислав Петрович

доктор географических наук, профессор,
кафедра кадастров недвижимости
и права, Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства
(Россия, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28);
член-корреспондент Российской
академии экологических наук

E-mail: stas_lomov@mail.ru

Lomov Stanislav Petrovich

Doctor of geographical sciences, professor,
sub-department of real estate cadaster and
law, Penza State University of Architecture
and Construction (28 Titova street, Penza,
Russia); Corresponding Member
of the Russian Academy of Environmental
Sciences

УДК 911.52

Артемова, С. Н.

**Общая характеристика развития и динамики ландшафтов Верхне-
го Посурья и Примокшанья в голоцене / С. Н. Артемова, Д. С. Иконников,
С. П. Ломов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Естественные науки. – 2017. – № 3 (19). – С. 91–106. DOI: 10.21685/2307-
9150-2017-3-9**

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, редколлегией 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.