

ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ *PLEBEJUS ARGUS* (LINNAEUS, 1758) И *BOLORIA EUPHROSYNE* (LINNAEUS, 1758) В ГОЛОЦЕНЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ РАССЕЛЕНИЕ НА ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ В БЕЛАРУСИ

Г.Г. СУШКО¹, Н.В. ВОРОНОВА²

¹*Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь*

²*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*
e-mail: gennadis@rambler.ru¹, nvoronova@bsu.by²

*Чешуекрылые *Plebejus argus* и *Boloria euphrosyne* на протяжении Голоцена мигрировали на территорию современной Беларуси с разных направлений: первый – из юго-западных европейских рефугиумов, второй – из восточных уральских и сибирских. Они колонизировали данные экосистемы, вследствие их высокой инсоляции и наличия подходящих кормовых ресурсов.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВЕРХОВОЕ БОЛОТО, ЧЕШУЕКРЫЛЫЕ, ДНК, МИГРАЦИИ, БЕЛАРУСЬ.

Введение. Значительную часть территории Беларуси занимают верховые болота – островные, азональные экосистемы, несущие черты перигляциальной растительности раннего Голоцена [1], формирующие устойчивые и изолированные популяции животных с весьма специфическими требованиями к экологическим условиям, таким как высокая влажность и кислотность сфагнового покрова и низкая минерализация воды, узкий спектр кормовых растений, значительный градиент суточных температур и др. В тоже время в других странах Европы они являются одними из наиболее нарушенных экосистем в результате хозяйственной деятельности. Вследствие этого верховые болота Беларуси являются хранителями биоразнообразия криофильных видов в условиях изменения климата, а также уникального генофонда, сформированного многими представителями перигляциальной фауны, нашедшими подходящие условия обитания в данных экосистемах в раннем и среднем Голоцене. Однако, ряд вопросов, связанных с пространственной дифференциацией популяций характерных

обитателей верховых болот и путями их формирования до сих пор остаются не выясненными. В связи с этим целью данной работы стало исследование ключевых факторов, определяющих расселение и пути миграций дневных бабочек *Plebejus argus* (Linnaeus, 1758) и *Boloria euphrosyne* (Linnaeus, 1758), численно преобладающих в комплексах чешуекрылых верховых болот Беларуси.

Материалы и методы. Материалом для работы послужили сборы с верховых болот «Ельня» и «Болото Мох» (Миорский р-н Витебской области) на протяжении 2015-2017 гг. Модельными объектами послужили два вида дневных бабочек – *Plebejus argus* (Linnaeus, 1758) (сем. Lycaenidae) и *Boloria euphrosyne* (Linnaeus, 1758) (сем. Nymphalidae), численно преобладающие в комплексах чешуекрылых верховых болот с середины мая до конца августа.

Объекты исследований. *Plebejus argus* – трансевразийский, распространенный в умеренной зоне северного полушария, вид. Населяет различные типы лугов, в том числе и в горах, где распространен до высоты 2000 метров над уровнем моря [14]. В западной части ареала приурочен к верещатникам [16]. В Беларуси зарегистрирован как на лугах, так и в сухих сосняках вересковых, заболоченных сосновых лесах [3], а также на верховых болотах. В Центральной Европе и ряде стран Северной Европы обладает высокой степенью специализации к экосистемам верховых болот и причислен к группе тирфофилов [5, 8, 11-13, 15]. Лет имаго – I (07) – III (08), наибольшей учетной плотностью на болотах отличался в период цветения вереска (со второй половины июля до середины августа), который является основным кормовым растением имаго *Plebejus argus* на верховых болотах. Кормовые растения гусениц в данных экосистемах – *Vaccinium uliginosum*, *Calluna vulgaris* [6], тогда как на лугах спектр питания значительно шире и включает различные виды растений семейства Бобовые. В своем развитии гусеницы опекаются муравьями *Lasius niger*, *L. alienus* и *Formica cinerea* [2].

Boloria euphrosyne (Linnaeus, 1758). Трансевразийский вид, распространенный в лесной и лесостепной зоне, где населяет широкий спектр открытых местообитаний, в горах, распространен до высоты 2000 метров над уровнем моря. В северной части ареала вид отмечен в тундре, в таежных верховых болотах, сосняках багульниковых и сфагновых и в поймах небольших лесных рек [14]. В Беларуси обитает в различных типах леса, на лугах [3] и верховых болотах. В Центральной Европе и ряде стран Северной Европы обладает высокой степенью специализации к экосистемам верховых болот и причислен к группе тирфофилов [5, 8, 11-13, 15]. Лет имаго – II (05) – III (06). *Boloria euphrosyne* – полифаг, кормовые растения гусениц – *Fragaria vesca*, *Rubus idaeus*, *Vaccinium spp.*, *Viola spp.* На верховых болотах гусеницы питаются *Vaccinium uliginosum*, *Ledum palustre* 2, 6], а имаго – на цветках *Ledum palustre*.

Методы сбора. Учеты проводились по методике Pollard and Yates (1993) [9] энтомологическим сачком на трансектах длиной 100 м и шириной 5 м (500 м²) с мая по

сентябрь с интервалом 7-10 дней. Трансекты были заложены по градиенту от края к вершине болота в основных типах местообитаний: окрайка, представленная пушицево-сфагновыми фитоценозами (Псф), сосново-сфагновые фитоценозы (Ссф) и открытые кустарничково-пушицево-сфагновые (ПКсф_с) на склоне и на вершине (ПКсф_в). В каждом из них было выбрано по 3 участка с однородной растительностью (общая протяженность трансект – 1200 м). Время учетов – с 10.00 до 16.00 при подходящих погодных условиях [9].

Переменные среды. В начале и конце каждой трансекты были измерены температура воздуха (C°), скорость ветра (м/с), освещенность (клк). Кроме того, произведена оценка фитоценологических параметров: видовое богатство высших сосудистых растений, высота растений, число цветущих растений на 1 м^2 . Все измерения проведены в трехкратной повторности, рассчитаны средние значения и их ошибки.

Анализ данных. Различие выборок чешуекрылых из разных местообитаний оценено с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (U), достоверность которых проверялась тестом Монте-Карло.

Для оценки мультиколлинеарности измеренных переменных среды построена корреляционная матрица ранговой корреляции Спирмена (r_s). Переменные с высоким уровнем корреляции ($r_s \geq 0,7$) были исключены из анализа.

Влияние факторов среды на учетную численность модельных видов чешуекрылых оценено с помощью общей модели множественной регрессии (GLM) с распределением Пуассона. Переменные включенные в модель: температура воздуха, освещенность, число цветущих растений на 1 м^2 . Перед проведением анализа данные переведены в десятичный логарифм $\log_{10}(x + 1)$. Статистический анализ выполнен в R 3.1.2 (R Core Team 2014) [10].

Для установления филогенетического родства представителей *Plebejus argus* и *Boloria euphrosyne* была использована последовательность 5'-областигена субъединицы I цитохром-оксидазы c (COI), которая широко используется для проведения такого рода исследований у насекомых и, в частности, у Lepidoptera. Как известно, у Lepidoptera COI обладает высокой разрешающей способностью, как на межвидовом, так и на внутривидовом уровне. ДНК выделяли из единичного тотального образца с использованием «Genomic DNA Purification Kit» (Thermo Scientific). ПЦР для получения фрагмента COI провели с геноспецифическими праймерами LepR/LepF, используя стандартный для этих праймеров протокол [7] и Taq-полимеразу (Thermo scientific). Качество и количество ПЦР-продукта оценивали визуально в 1,5 % агарозном геле с использованием в маркера молекулярного веса 1Kb DNA-Ladder (Thermo scientific). Секвенирование продуктов ПЦР провела компания Macrogen (Нидерланды). Оценку качества секвенирования провели в программе MEGA7.

Филогенетические деревья строили на основе дистанционной модели Kimura-2-parameter методом Neighbor joining на платформе BOLD.

Результаты. Выборки чешуекрылых из разных местообитаний для обоих видов достоверно различались по критерию Манна-Уитни ($p < 0,05$). При этом наибольшей учетной плотностью *Plebeius argus* и *Boloria euphrosyne* характеризовались местообитания (Ссф, КПсф_с) с преобладанием в проективном покрытии растений, таких как багульник болотный и вереск обыкновенный, которые предоставляют кормовые ресурсы имаго данных видов (таблица 1).

Таблица 1

Учетная плотность модельных видов чешуекрылых на верховых болотах

Вид	Учетная плотность, экз±s.e.			
	Псф	Ссф	ПКсф_с	ПКсф_в
<i>Plebeius argus</i>	21±1,5	208±12,7	49±2,5	44±3,1
<i>Boloria euphrosyne</i>	9±2,4	41±7,6	19±4,3	15±3,1

Регрессионный анализ показал значимую зависимость учетной плотности *Plebeius argus* и *Boloria euphrosyne* количества цветущих растений на единицу площади, а также от уровня освещенности. Данные модели характеризуются высокими коэффициентами детерминации ($R^2=0,730-0,993$), что указывает на тесную связь зависимых переменных (учетная плотность) от факторов среды (таблица 2).

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа (GLM) отношения модельных видов чешуекрылых к переменным среды на верховых болотах

Переменная	Коэффициент	SE	t	p	R^2
<i>Plebeius argus</i>					
число цветущих растений на 1 м ²	9,737	4,177	2,331	0,010	0,730
температура воздуха (С°)	-96,897	62,8	-1,542	0,2628	0,543
освещенность (клк)	-96,32	5,394	-17,856	0,003	0,993
<i>Boloria euphrosyne</i>					
Число цветущих растений на 1 м ²	1,730	0,626	2,764	0,010	0,792
температура воздуха (С°)	-13,103	12,879	-1,017	0,416	0,341
освещенность (клк)	-15,894	3,116	-5,1	0,036	0,928

Данные виды, не смотря на то, что численно выделяются на верховых болотах, не являются их стенобионтными обитателями и, по всей видимости, заселили эти экосистемы наряду с другими после отступления ледника в Голоцене вследствие наличия здесь кормовой базы и так как эти открытые местообитания являются хорошо освещаемыми и прогреваемыми.

До настоящего времени оставался открытым вопрос о путях миграции насекомых на верховые болота в постгляциальный период. Ранее, на основании анализов современного географического распространения и трофических предпочтений насекомых, являющихся специализированными обитателями верховых болот, было сделано предположение о возможной колонизации верховых болот как с восточного направления (уральских и сибирских рефугиумов), так и с юго-западного направления [4]. Результаты построения филогенетического дерева показали, что последовательности COI *Plebejus argus* формируют два крупных, хорошо обособленных кластера. В основании одного из этих кластеров лежат последовательности, полученные для образцов, коллектированных на территории Германии, а основную группу кластера образуют последовательности из Дании, Австрии, Британии, Норвегии и Голландии. Последовательность *Plebejus argus* из Беларуси, образует основу второго, более крупного кластера, в который вошли последовательности из Дании, Сербии и Италии, а также некоторых стран севера Европы. Указанное расположение последовательностей на филогенетическом дереве позволяет заключить, что в Европе *Plebejus argus* представлен двумя крупными линиями, причем белорусские *Plebejus argus* отделились от линии, представители которой распространены в Италии и Сербии, сравнительно рано. Следовательно, расселение данного вида по территории современной Республики Беларусь, в том числе и на верховых болотах осуществлялось преимущественно из юго-западных рефугиумов.

Вид *Boloria euphrosyne* на филогенетическом дереве также образовал два хорошо обособленных кластера. Один из них формировали образцы, коллектированные преимущественно в Италии и Франции, а другой, более крупный кластер, сформировали образцы из различных частей Европы, причем *Boloria euphrosyne* из Беларуси располагались в одном субкластере с образцами из азиатской части России (Алтайский край, Чукотский автономный округ, Камчатский край), а также с единичными последовательностями из Эстонии, Норвегии и Финляндии. Этот факт свидетельствует о миграции данного вида из восточных рефугиумов.

Таким образом, одни из наиболее многочисленных на верховых болотах Центральной Европы видов чешуекрылых *Plebejus argus* и *Boloria euphrosyne* мигрировали на протяжении Голоцена на территорию современной Беларуси из европейских юго-западных и восточных

уральских и сибирских рефугиумов и колонизировали данные экосистемы, вследствие их высокой инсоляции и наличия подходящих кормовых ресурсов.

Список использованной литературы:

1. Зеленкевич, Н.А. Флора и растительность верховых болот Беларуси / Н.А. Зеленкевич, Д.Г. Груммо, О.В. Созинов, О.В. Галанина. – Минск : Строй Медиа Проект, 2016. – 244 с.
2. Львовский, А.Л., Д.В. Моргун. Булавоусые чешуекрылые Восточной Европы. / А.Л. Львовский, Д.В. Моргун. – Москва : Т-во научных изданий КМК, 2007. – 443 с.
3. Мержеевская, О.И. Чешуекрылые (Lepidoptera) Белоруссии (каталог) / О.И. Мержеевская, А.Н. Литвинова, Р.В. Молчанова. – Минск : Наука и техника, 1976. – 132 с.
4. Сушко, Г.Г. Тирфобионтные и тирфофильные насекомые Белорусского Поозерья. // Итоги и перспективы развития энтомологии Восточной Европы : материалы II межд. научн.-практ. конф., Минск, 6–8 сентября 2017 г. / ГНПО НПЦ НАН РБ по биоресурсам; редкол. : О.И. Бородин, В.А. Цинкевич. – Минск, 2017. – С. 417–430.
5. Dapkus, D. Macrolepidoptera of Lithuanian peatbogs / D. Dapkus // *Norw. J. Entomol.* – 2001. – № 48. – P. 161–166.
6. Database of Insects and their Food Plants [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access : <http://www.brc.ac.uk>. – Date of access : 1.09.2017.
7. Hajibabaei, M. DNA barcodes distinguish species of tropical Lepidoptera. / M. Hajibabaei, D.H. Janzen, J.M. Burns, W. Hallwachs, P.D.N. Hebert // *PNAS*. – 2006. – № 103. – P. 968–971.
8. Mikkola, K. Lepidoptera associated with peatlands in central and northern Europe: a synthesis / K. Mikkola, K. Spitzer // *Nota Lepid.*, 1983. – № 6(4) – p. 216–229.
9. Pollard, E. *Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation*. / E. Pollard, T. J. Yates. London : Chapman & Hall, 1993. – 274 p.
10. R Development Core Team (2011) *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
11. Spitzer, K. Biogeographical and ecological determinants of the centre European peat bog Lepidoptera: the habitat island approach to conservation / K. Spitzer // *Nota Lepid.* (Suppl. 5). – 1994. – P. 45–49.
12. Spitzer, K. Insect biodiversity of boreal peat bogs / K. Spitzer, H. V. Danks // *Annual Review of Entomology*. – 2006. – Vol. 51. – P. 137–161.
13. Thiele, V. Tyrphobionte Schmetterlingsarten nährstoffarmer Moore / V. Thiele, A. Luttman // *Nul.* – 2015. – № 47/4. – P. 101–108.

14. Tuzov, V.K. Guide to the Butterflies of Russia and adjacent territories (Lepidoptera, Rhopalocera) / V.K. Tuzov (eds.) // Vol 2. Libytheidae, Danaidae, Nymphalidae, Riodinidae, Lycaenidae. – Pensoft : Sofia–Moscow, 2000. – 395 p.

15. Vaisanen, R. Distribution and abundance of diurnal Lepidoptera on a raised bog in southern Finland / R. Vaisanen // Ann. Zool. Fenn. – 1992. – № 29. – P. 75–92.

16. UK butterflies [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.ukbutterflies.co.uk>. – Date of access : 1.09.2017.

Ways of formation of butterfly populations of *Plebejus argus* (Linnaeus, 1758) and *Boloria euphrosyne* (Linnaeus, 1758) in the Holocene and environmental factors affecting their distribution on the peat bogs in Belarus

G.G. Sushko, N.V. Voronova

KEY WORDS: PEAT BOG, BUTTERFLY, DNA, MIGRATIONS, BELARUS.

One of the most numerous species of Lepidoptera on the peat bogs of Central Europe *Plebejus argus* and *Boloria euphrosyne* migrated on the territory of modern Belarus from different directions: the first from the south-western European refugia, the second from the eastern Ural and Siberian refugia. They colonized these ecosystems, due to their high insolation and the availability of suitable food resources