



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>

№ 2 (23). Июнь, 2017

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugolek
В. Н. Якимов
А. В. Сони́на

Службы поддержки

Н. А. Марфицина
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: ecopri@petsu.ru

<https://ecopri.ru>





Содержание № 2. 2017

От редакции

Про регистрацию в WoS 3

Оригинальные исследования

- Давранов Э. . *Пространственно-типологическая структура и организация весеннего и весенне-летнего населения птиц северного макросклона Киргизского хребта (Тянь-Шань)* 4 - 14
- Кириевская Д. В. *Зообентос Чукотского моря: современное состояние и тенденции антропогенной нагрузки* 15 - 27
- Лаврукова О. С.,
Лябзина С. Н.,
Горбач В. В.,
Приходько А. Н. *Особенности состава некрофильных двукрылых на урбанизированных территориях южной Карелии* 28 - 37
- Морозова Т. С.,
Семёнов С. Ю. *Оценка возможности применения пивной дробины при сбраживании гидролизатов лигноцеллюлозного сырья в биобутанол* 38 - 46
- Рыбаков Д. С. *Влияние загрязнения серой на радиальный прирост *Pinus sylvestris* L. в Республике Карелия* 47 - 60
- Теканова Е. В.,
Кравченко И. Ю.,
Потехин М. С.,
Богданова М. С. *Анализ природных факторов формирования биологической продуктивности водоемов в разных ландшафтах Карелии* 61 - 69
- Хохлова Т. Ю. *Морфометрическая характеристика гнездовой группировки перевозчика *Actitis hypoleucos* L. в восточном Приладожье* 70 - 82
- Чернышов В. М.,
Ердаков Л. Н. *Цикличность многолетней динамики репродуктивных параметров полевого воробья *Passer montanus** 83 - 93

Синописис

- Антипина Г. С. *Новый атлас* 94 - 96



ПРО РЕГИСТРАЦИЮ В WOS

КОРОСОВ
Андрей Викторович

д. б. н., Петрозаводский государственный университет
(Петрозаводск, пр. Ленина, 33), korosov@psu.karelia.ru

Подписана к печати:

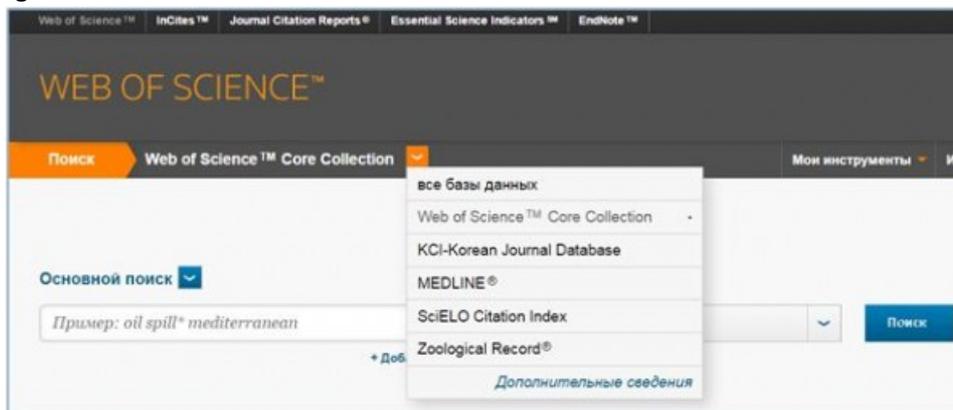
22 июля 2017 года

Уважаемые читатели, авторы и рецензенты!

Приходится все чаще слышать вопрос: входит ли (до сих пор) наш журнал в базу данных Web of Science?

Наш журнал **не входит** в «главную» базу WoS (Web of Science **Core Collection**), используя которую, Институт научной информации США (ISI) рассчитывает общепризнанный индекс цитирования SCIE (Science Citation Index Expanded). На сайте eLIBRARY.RU факт включения журнала в Web of Science Core Collection отображается как «ISI да», в нашем случае – «ISI нет».

В то же время наш журнал **включен** в базу журналов **Zoological Record**, которая наряду с еще тремя специальными базами фигурирует на сайте Web of Science в том же списке, что и Core Collection. Некоторые институты приобретают доступ не ко всем базам данных WoS, и поэтому сотрудники, использующие доступ к WoS, не увидят пункт Zoological Record. Но он есть.



Если переключиться на базу Zoological Record и выполнить поиск нашего журнала, обнаружатся свежие статьи, опубликованные у нас уже в конце 2016 г.



Видимо, чтобы снять этот вопрос, нам следует переместиться с пятой строки на первую...

*С неизменной готовностью к сотрудничеству,
редколлегия электронного журнала «Принципы экологии»*

ABOUT REGISTRATION IN WOS

**KOROSOV
Andrey Victorovich**

*DSc, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Lenina st.,
33), korosov@psu.karelia.ru*

Published on:
22 July 2017



УДК 598/20(575.2)(04)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕСЕННЕГО И ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕГО НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ СЕВЕРНОГО МАКРОСКЛОНА КИРГИЗСКОГО ХРЕБТА (ТЯНЬ-ШАНЬ)

**ДАВРАНОВ
Эгамберди**

*Институт систематики и экологии животных СО РАН
(630091, Новосибирск-91, ул. Фрунзе, 11),
egemberdi@inbox.ru*

Ключевые слова:

орнитокомплексы,
неоднородность,
пространство,
сезонность,
среда, факторы,
связи, структура,
классификация

Аннотация. Составлены иерархические классификации и выявлены пространственно-типологические структуры весеннего и весенне-летнего населения птиц северного макросклона Киргизского хребта. С помощью линейной качественной аппроксимации рассчитана информативность полученных классификационных и структурных представлений, проведена оценка связи изменчивости сообществ с факторами среды. Выполнены сравнения структуры и организации орнитокомплексов в указанные периоды и в зимнее и предвесеннее время на Тянь-Шане и Алтае.

Получена:

30 мая 2017 года

Подписана к

печати:

30 июня 2017
года

© Петрозаводский государственный университет

Введение

На весенний и весенне-летний периоды приходится период гнездования, успешность которого определяет уровень численности птиц в течение года. Поэтому выявление основных направлений изменчивости орнитокомплексов на разрезе от предгорий до высокогорий, описание по выявленным трендам неоднородности основных населенческих показателей представляет особый интерес. В анализ включены лидирующие виды птиц (по обилию и биомассе), плотность населения, суммарная биомасса, видовое богатство (общее и фоновое), а также фаунистический состав орнитокомплексов (с учетом обилия).

Материалы

Для полного цикла подобных работ проведены круглогодичные учеты птиц с 16 июня 1991 г. по 15 июня 1992 г. По результатам подсчета с помощью метода упорядоченной классификации отдельно для каждого уровня высот (высокогорья, среднегорья, предгорья) выявлены сезонные аспекты населения (Давранов, 2011).

Границы их по уровням высот не всегда совпадают. Так, весенний аспект населения птиц в высокогорьях и среднегорьях начинается с начала апреля и заканчивается в конце того же месяца, в предгорьях он начинается во второй половине марта и завершается в конце апреля. Таким образом, весенний аспект в высокогорьях и среднегорьях длится один месяц, а в предгорьях – полтора. Весенне-летний период начинается во всех поясах с начала мая и длится в высокогорьях до середины июля, в среднегорьях – до конца июля, а в предгорьях – до конца июня. Короче всего этот период в предгорьях (два месяца), в среднегорьях – три месяца, а в высокогорьях – 2.5. Окончание периода определяет в предгорьях выгорание растительности, в высокогорьях – начало предосеннего похолодания. В среднегорьях максимальная продолжительность связана одновременным благополучием по двум факторам – тепло- и влагообеспеченности.

Методы

Весенние и весенне-летние учеты птиц проведены в 22 местообитаниях, в 18 из них – на маршрутах, в 4 – на обозреваемых участках (в малых населенных пунктах и кошарах). Всего весной с учетом пройдено 220 км, в весенне-летний период – 435 км. Учеты проведены без ограничения ширины трансекта с последующим пересчетом данных по среднегрупповым дальностям обнаружения (Равкин, Ливанов, 2008). В каждом местообитании с двухнедельной повторностью проходили по 5 км маршрута. Рассчитанные после этого показатели обилия усреднены в пределах выделенных сезонных аспектов населения. По этим данным на основе коэффициентов сходства Жаккара – Наумова, с помощью программы факторной классификации выявлены особенности среды, коррелирующие с неоднородностью населения птиц (Трофимов, 1976; Трофимов, Равкин, 1980), составлены классификации, по которым построены графы сходства. Для сравнения использованы результаты учетов птиц на Алтае (Цыбулин, 2009). Названия видов птиц даны по А. И. Иванову (1976), кроме чернозобого дрозда, седоголового щегла и маскированной трясогузки, которых, вслед за Л. С. Степаняном (2003), считали отдельными видами с соответствующими этому источнику названиями. По Б. К. Штегману (1938) даны названия типов фауны и их состав с некоторыми дополнениями.

В классификациях для каждого таксона указаны первые 5 лидирующих видов (по их доле в населении, %) и основные суммарные показатели сообществ – плотность населения (особей/км² или 10 км береговой линии на водотоках), биомасса (кг/км²), видовое и фоновое богатство. Далее приведено соотношение преобладающих по числу особей типов фауны, представители которых составляют 10 % и более от общего обилия птиц. Затем эти показатели приведены перечислением в том же порядке без их наименования. Числа 1, 2.....11 означают номера типов, а 11.1; 12.1 и т. д. – номера подтипов.

Результаты

Неоднородность населения птиц в пространстве охарактеризована иерархической и структурной классификациями. Вторая из них выполнена на том или ином уровне разбиения, поэтому не является иерархической. Но она включает значимые связи выше выбранного порога и иллюстрирует основные тренды изменчивости орнитокомплексов в типологическом (факторном) пространстве.

Иерархическая классификация населения птиц в весенний период Система населения незастроенной суши

Типы населения:

1 – высокогорный луговой (альпийских и субальпийских лугов; лидеры по обилию, % – гималайский вьюрок (*Leucosticte nemoricola* Hodgson, 1836) 32, горный конек (*Anthus spinoletta* Linnaeus, 1758) 15, бледная завирушка (*Prunella fulvescens* Severtzov, 1873) и красношапочный вьюрок (*Serinus pusillus* Pallas, 1811) по 9, клушица (*Pyrrhocorax pyrrhocorax* Linnaeus, 1758) 8 / лидеры по биомассе, %: клушица 33, темнобрюхий улар (*Tetraogallus himalayensis* G.R. Gray, 1843) 15, гималайский

вьюрок (*Leucosticte memoricolla* Hodgson, 1836) 11, кеклик (*Alectoris kakelik* J.E. Gray, 1830) 7, сизый голубь (*Columba livia* Linnaeus, 1789) 6; 276 / 18; 20 / 17; тибетского 59, монгольского 21, средиземноморского 11);

2 - высокогорный скально-стланиковый (арчовых стлаников, скал и осыпей; малая розовая чечевица (*Carpodacus rhodochlamys* J.F. Brandt, 1843) 25, черногрудая красношейка (*Calliope pectoralis* Gould, 1837) 14, бледная завирушка 10, краснобрюхая горихвостка (*Phoenicurus erythrogaster* Guldenstadt, 1775) 8, красношапочный вьюрок 7 / кеклик 23, клушица 15, малая розовая чечевица (*Carpodacus rodochlamus* Brandt, 1843) 13, черная ворона (*Corvus corone* Linnaeus, 1758) 10, сорока (*Pica pica* Linnaeus, 1758) 7; 435/34; 26/23; тибетского типа фауны 41, монгольского 27, китайского 15);

3 - среднегорный лесной (арчовых и еловых лесов; рыжешейная (*Parus rufonuchalis* Blyth, 1849) и большая синицы (*Parus major* Linnaeus, 1758) 15 и 12, сорока 11, зарничка (*Phylloscopus inornatus* Blyth, 1842) 9, желтогрудый князек (*Parus flavipectus* Severtzov, 1873) 8 / черная ворона 41, сорока 27, вяхирь (*Columba palumbus* Linnaeus, 1758) 9, черный дрозд (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) 4, майна (*Acridotheres tristis* Linnaeus, 1766) 3; 159/14; 28/20; европейского типа фауны 42, китайского 22, средиземноморского 11, монгольского и сибирского по 10);

4 - среднегорный лугово-кустарниковый (лугостепей и кустарников со скалами и осыпями; черногорлая завирушка (*Prunella atrogularis* Brandt, 1844) и черноголовый чекан (*Soxicola toquata* Linnaeus, 1766) по 11, горная овсянка (*Emberiza cia* Linnaeus, 1766) и теньковка (*Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817) по 9, лесной конек (*Anthus trivialis* Linnaeus, 1758) 8 / бородатая куропатка (*Perdix daurica* Pallas, 1811) 18, кеклик 14, черная ворона 9, сорока 7, фазан (*Phasianus colchicus* Linnaeus, 1758) 6; 752/46; 43/36; европейского типа фауны 24, монгольского 17, транспалеарктов 12, средиземноморского типа 11);

5 - предгорный садово-степной (степей и яблоневого сада; чернозобый дрозд 30, седоголовый щегол (*Carduelis caniceps poronisi* Vigors, 1831) 18, обыкновенная овсянка (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758) 9, зяблик (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) 5, белошапочная овсянка (*Emberiza leucoscephalos* S.G. Gmelin, 1771) 3 / чернозобый дрозд (*Turdus atrogularis* Jarocki, 1819) 36, сизый голубь 10, грач (*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758) 8, бородатая куропатка 6, кеклик 5; 913/67; 42/34; европейского типа фауны 44, сибирского 35);

6 - предгорный пойменно-лесной (полевой воробей 29, майна 9, белошапочная овсянка 7, коноплянка (*Cannabina cannabina* Linnaeus, 1758) 5, горная овсянка 4 / фазан 25, майна 14, кеклик 11, сизый голубь и полевой воробей (*Passer montanus* Linnaeus, 1758) по 8; 1107/94; 37/34; транспалеарктов 32, европейского типа фауны 25, сибирского 11);

7 - предгорный полупустынный (каменка-плясунья 29, грач 23, обыкновенная овсянка 12, галка 11 и каменка-плешанка 8 / грач 67, галка 16, каменка-плясунья 6, обыкновенная овсянка 3 и полевой жаворонок 2; 172/24; 14/11; европейского и монгольского типов фауны по 36, транспалеарктов - 18);

8 - предгорный полевой (полей клевера и пшеницы; степной и полевой жаворонок 25 и 21, скворец 15, горный конек 11, белошапочная овсянка 8 / степной жаворонок 30, скворец 23, полевой жаворонок 15, черная ворона 6, горный конек 5; 357/18; 18/16; средиземноморского типа фауны 26, европейского 25, транспалеарктов 21, сибирского типа 14, тибетского 12).

Система населения застроенных местообитаний

Типы населения:

9 - высокогорных поселков (гималайский вьюрок 31, сорока 17, красношапочный вьюрок 16, сизый голубь 8, бледная завирушка 6 / сорока 33, черная ворона 24, сизый голубь 20, гималайский вьюрок 6, клушица 5; 939/105; 13/13; тибетского типа фауны 31, средиземноморского 25, европейского 21);

10 - среднегорных поселков (сизый голубь 38, майна 20, сорока 20, красношапочный вьюрок 10, черная ворона 8 / сизый голубь 48, черная ворона 21, сорока 19, майна 11, красношапочный вьюрок 0,4 ; 2000/460; 7/7; средиземноморского

типа 50, европейского 27);

11 – предгорных поселков и кошар (домовый (*Passer domesticus* Linnaeus, 1758) и полевой воробьи 35 и 33, майна 7, скворец 6, малая горлица (*Streptopelia senegalensis* Linnaeus, 1766) 3 / домовый воробей 17, грач 16, майна 14, полевой воробей 12, сизый голубь 9; 7042/450; 40/38; транспалеарктов 70, европейского типа фауны 14);

Подтипы населения:

11.1 – крупных поселков (домовый и полевой воробьи 38 и 36, скворец и майна по 7, сизый голубь 2 / домовый и полевой воробьи 22 и 16, майна 16, сизый голубь 13, скворец 11; 8772/465; 37/36; транспалеарктов 76, европейского типа фауны 10);

11.2 – малых поселков и кошар (домовый и полевой воробьи по 20, грач 13, зяблик 10, майна 8 / грач 43, кольчатая горлица (*Streptopelia decaocto* Frivaldszky, 1838) 11, черная ворона 10, майна 9; 3583/420; 16/16; транспалеарктов 40, европейского типа фауны 37).

Система населения водно-околоводных сообществ

12 – Речной тип населения (горная и маскированная трясогузки 35 и 32, бурая оляпка (*Cinclus pallasii* Temminck, 1820) и оляпка (*Cinclus cinclus* Linnaeus, 1758) 18 и 13, синяя птица (*Myiophonus caeruleus* Scopoli, 1786) 2 / бурая оляпка 36, маскированная трясогузка (*Motacilla percenata* Gould, 1861) 20, оляпка 19, горная трясогузка (*Motacilla cinerea* Tunster, 1771) 16, синяя птица 9; 839/32; 5/5; транспалеарктов 48, средиземноморского типа фауны 32, китайского 20);

Подтипы населения:

12.1 – высокогорных и среднегорных рек (горная и маскированная трясогузки 44 и 19, бурая оляпка и оляпка 19 и 15, синяя птица 3 / бурая оляпка и оляпка 36 и 22, горная трясогузка 18, синяя птица 12, маскированная трясогузка 11; 854/35; 5/5; транспалеарктов 60, китайского типа фауны 22, средиземноморского 19);

12.2 – предгорных рек (маскированная и горная трясогузки 60 и 18, бурая оляпка и оляпка 15 и 7 / маскированная трясогузка 43, бурая оляпка и оляпка 36 и 12, горная трясогузка 9; 808/27; 4/4; средиземноморского типа фауны 60, транспалеарктов 25, китайского типа 15).

Иерархическая классификация населения птиц в весенне-летний период

Система населения незастроенной суши

Типы населения:

1 – высокогорный луговой (альпийских и субальпийских лугов; гималайский вьюрок 35, горный конек и коноплянка по 8, красношапочный вьюрок 7, каменка (*Oenanthe oenanthe* Linnaeus, 1758) 6 / клушица 23, темнобрюхий улар 22, гималайский вьюрок 13, альпийская галка (*Graculus graculus* Linnaeus, 1766) 6, черная ворона 5; 550/34 ; 50/27; тибетского типа фауны 58, монгольского 14, европейского 11);

2 – высокогорно-среднегорный лесово-кустарниковый (арчовых и еловых лесов, кустарников со скалами и осыпями; зарничка 16, обыкновенная чечевица (*Caprodacus erytrinus* Pallas, 1770) и серая славка (*Silvia communis* Latham, 1787) по 8, зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides* Sandr. 1837) 7, красношапочный вьюрок 6 / черная ворона 23, кеклик 15, сорока 8, майна 6, клушица 5; 717/48; 88/49; китайского типа фауны 24, европейского 23, сибирского 17, тибетского и монгольского по 10);

Подтипы:

2.1 – высокогорный скально-стланиковый (скал, осыпей и арчовых стлаников; черногрудая красношейка 12, малая розовая чечевица и красношапочный вьюрок по 11, зарничка 8 / кеклик 29, клушица 13, сорока 9, черная ворона 8, малая розовая чечевица 6; 630/47; 62/37; китайского типа фауны 27, тибетского 22, монгольского 18, средиземноморского и европейского по 11);

2.2 – среднегорный лесово-кустарниковый (лесов и кустарников; зарничка 21, серая славка 11, зеленая пеночка 9, чечевица 7, майна 4 / черная ворона 33, майна 9, фазан 8, сорока 7, кеклик 6; 775/48; 69/46; европейского типа фауны 30, китайского 22, сибирского 21).

Типы населения:

3 – среднегорный лугово-степной (серая славка 22, черноголовый чекан 13,

желчная (*Emberiza bruniceps* Blyht, 1841) и горная овсянки 12 и 11, коноплянка 10 / кеклик 46, сорока 7, серая славка 6, черная ворона и желчная овсянка по 5; 548/33; 42/26; европейского типа фауны 38, транспалеарктов и средиземноморского типа по 32, монгольского 23);

4 – предгорный лесостепной (степей, пойменных лесов и полей пшеницы; полевой, домовый и черногрудый воробьи (*Passer hispaniolensis* Temminck, 1820) 14, 7 и 4, южный соловей (*Luscinia megarhynchos* Ch. L. Brehm, 1831) 6, желчная овсянка 5 / фазан 14, сизый голубь 11, майна 9, полевой воробей и скворец по 5; 1057/67; 71/57; европейского и средиземноморского типов фауны по 32, транспалеарктов 25);

Подтипы:

4.1 – лесостепной (лесов и степей; полевой воробей 11, южный соловей 8, черногрудый и индийский воробьи (*Passer indicus* Jardine et Selby, 1831) и седоголовый щегол по 6 / фазан 16, сизый голубь 11, майна 10, сорока 5, скворец 4; 1244/87; 68/57; европейского типа фауны 40, средиземноморского 32, транспалеарктов 16);

4.2 – полей пшеницы; полевой, домовый и черногрудый воробьи 29, 25 и 17, степной и хохлатый жаворонки (*Galerida cristata* Linnaeus, 1758) по 6 и 5 / домовый, полевой и черногрудый воробьи 20, 18 и 13, сизый голубь 11, степной жаворонок 10; 684/25; 22/19; транспалеарктов 56, средиземноморского типа фауны 34).

Типы населения:

5 – предгорный садовый (яблоневого сада; скворец 25, галка 18, чернолобый сорокопут (*Lanius minor* Gmelin, 1788) 15, желчная овсянка 12, сорока 8 / галка 31, скворец 17, сорока 15, черная ворона 12, чернолобый сорокопут 6; 368/41; 25/20; европейского типа фауны 58, транспалеарктов 23, средиземноморского типа 13);

6 – предгорный полупустынный (каменка-плясунья 36, хохлатый жаворонок и каменка по 10, степной конек (*Anthus richardi* Viellat, 1818) 9, маскированная трясогузка (*Motacilla percenata* Gould, 1861) 7 / черная ворона 26, каменка-плясунья 20, сизоворонка (*Coracias garrulus* Linnaeus, 1758) 10, хохлатый жаворонок 9, скворец 6; 129/6; 25/12; монгольского типа фауны 52, европейского типа и транспалеарктов – по 14, средиземноморского 12);

7 – предгорный полевой (полей клевера; желчная овсянка 25, полевой воробей 17, степной и полевой жаворонки 14 и 12, индийский воробей 8 / черная ворона 18, фазан и степной жаворонок по 15, желчная овсянка 11, скворец 8; 255/14; 22/16; средиземноморского типа фауны 48, транспалеарктов 34, европейского типа 14).

Система населения застроенных местообитаний

Типы населения:

8 – высокогорных поселков (майна 24, красношапочный вьюрок 22, сорока 19, черная ворона 10, гималайский вьюрок 6 / черная ворона 39, сорока 24, майна 18, сизый голубь 8, клушица 7; 408/69; 13/13; европейского типа фауны 32, средиземноморского 27);

9 – среднегорных поселков; (майна 31, сорока 21, маскированная трясогузка 9, сизый голубь 8, красношапочный вьюрок 7 / сорока 29, майна 23, черная ворона 20, сизый голубь 15, большая горлица (*Streptopelia orientalis* Latham, 1790) 6; 1943/317; 12/12; европейского типа фауны 26, средиземноморского 22);

10 – предгорных поселков и кошар (домовый и полевой воробьи 30 и 29, розовый скворец (*Pastor roseus* Linnaeus, 1758) 7, черногрудый воробей 6, грач 5 / грач 30, домовый и полевой воробьи 14 и 11, майна и розовый скворец по 8; 8480/554; 45/39; транспалеарктов 61, средиземноморского типа фауны 21 и европейского 12).

Система населения водно-околоводных сообществ

11 – речной тип (маскированная и горная трясогузки 32 и 30, бурая оляпка и оляпка 14 и 11, перевозчик (*Aetitis hipoleucos* Linnaeus, 1758) 8 / бурая оляпка 20, средний крохаль (*Mergus serrator* Linnaeus, 1758) 15, маскированная трясогузка 14, шилохвость (*Anas acuta* Linnaeus, 1758) 12, оляпка 11; 1227/67; 11/11; транспалеарктов 50, китайского типа фауны 15);

Подтипы населения:

11.1 – среднегорных и высокогорных рек (горная и маскированная трясогузки 33

и 26, буряя оляпка и оляпка 16 и 12, перевозчик 7 / буряя оляпка 21, средний крохаль 19, шилохвость 15, оляпка 12, маскированная трясогузка 10; 1333/82; 9/9; транспалеарктов 53, китайского типа фауны 19);

11.2 - предгорных рек (маскированная и горная трясогузки 49 и 22, перевозчик 13, оляпка и буряя оляпка по 7 /маскированная трясогузка 31, перевозчик 18, буряя оляпка 15, кряква 14, оляпка 11; 1015/38; 7/7; транспалеарктов 44).

Пространственно-типологическая структура орнитокомплексов в весенний и весенне-летний периоды

Классификации весеннего и весенне-летнего населения представлены тремя системами (надтипами), выделенными на графах в виде трех вертикальных рядов незастроенной и застроенной суши и рек. При этом первый ряд в весенний период имеет три отклонения, в весенне-летний - два. Они связаны с облесенностью и распашкой. Третий ряд в оба периода редуцирован до одного типа. Изменение населения птиц на незастроенной суши и в поселках четко совпадает с уровнями высот (рис. 1 и 2).

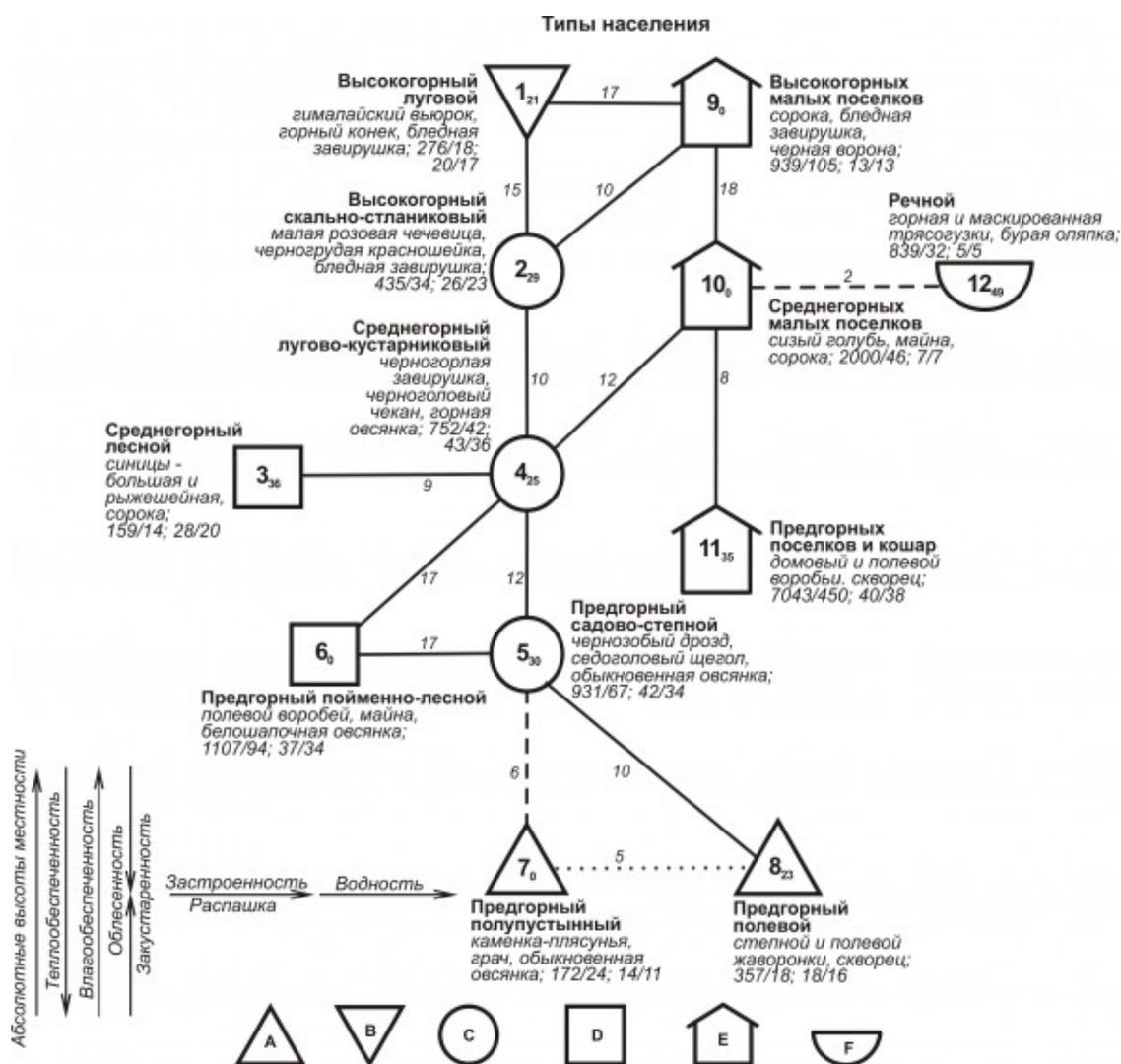


Рис. 1. Пространственно-типологическая структура весеннего населения птиц Киргизского хребта. А - обедненные открытые местообитания, В - богатые открытые, С - мозаичные местообитания, D - облесенные, E - поселки, F - водно-околоводные сообщества. Сплошной чертой показаны значимые связи, прерывистой - максимальные (при отсутствии значимых), пунктиром - дополнительные. Рядом со связями приведена их оценка. Цифры в значках - номера типов по классификации, рядом со значками - их названия, три лидирующих по обилию вида, плотность населения (особей/км²), биомасса (кг/км²), общее количество встреченных видов/ в том числе фоновых (обилие

которых 1 и более особей/км²).

Fig. 1. Spatial-typological structure of the spring bird population of the Kyrgyz Range

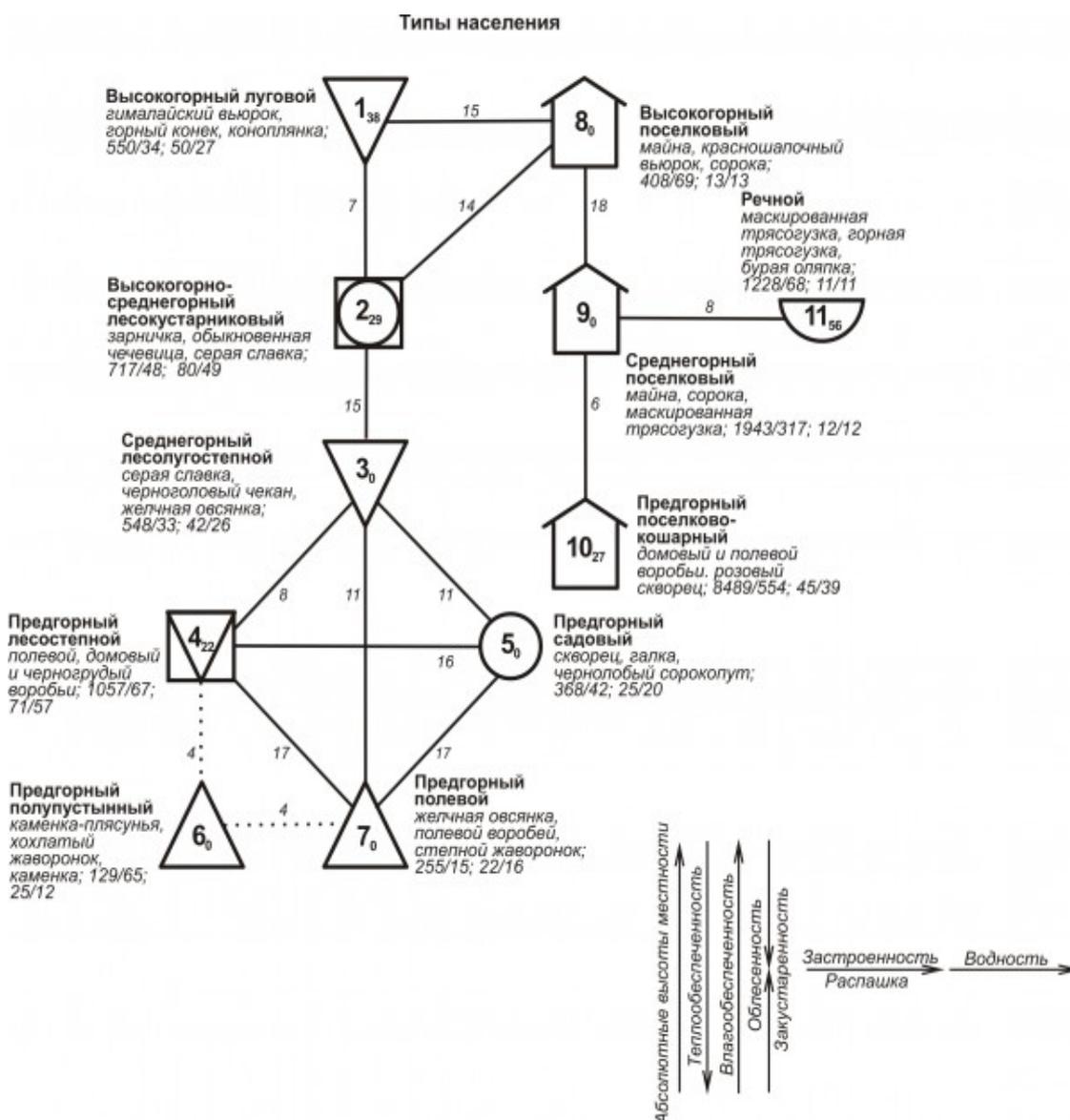


Рис. 2. Пространственно-типологическая структура населения птиц Киргизского хребта в весенне-летний период (условные обозначения - см. рис. 2)

Fig. 2. Spatial-typological structure of the spring-summer bird population of the Kyrgyz Range

Сила межклассовых связей обычно уменьшается к предгорьям, а внутриклассовых к высокогорьям. В поселках и на реках плотность и биомасса населения выше, чем на незастроенной суше, за исключением высокогорий весной, а видовое и фоновое богатство ниже.

Пространственно-типологическая организация населения птиц

Объяснение иерархической и структурной классификации позволяет выявить факторы среды и их неразделимые сочетания (природно-антропогенные режимы), по предметным соображениям определяющие изменчивость сообществ птиц. Для оценки силы и общности связи необходимо просчитать корреляцию этих факторов и режимов с изменчивостью орнитокомплексов, отраженных матрицей коэффициентов сходства. Эти оценки позволяют выявить иерархию влияния этих факторов и описать экологическую организацию сообществ.

Наиболее велика сила связи неоднородности населения в оба периода с водностью и несколько меньше с кормностью (таблица). С началом гнездования птиц в

весенне-летний период возрастает значимость продуктивности, закустаренности и абсолютной высоты местности. Остальные факторы, указанные в таблице, коррелируют в существенно меньшей степени. Информативность иерархической классификации в оба периода равна 73 % дисперсии матрицы коэффициентов сходства, графов – 66 и 62 %, всех режимов и факторов вместе — 92 и 95 %.

Сила связи факторов среды и неоднородности весеннего и весенне-летнего населения птиц северного макросклона Киргизского хребта

Фактор, режим	Учтенная дисперсия, период, %	
	Весенний	Весенне-летний
Водность	31	32
Кормность	16	16
Продуктивность	8	14
Абсолютные высоты местности	7	12
Застроенность	6	5
Закустаренность	5	12
Облесенность	3	8
Наличие скал и осыпей	1	3
Распашка	1	3
Все факторы	80	81
Режимы классификационные	73	73
структурные	66	62
Все режимы	92	89
Все факторы и режимы	92	95

Обсуждение

Для первой половины лета по Алтаю выделено 7 типов населения: субнивальный, альпийско-тундровый, субальпийско-луговой, лесной, степной, синантропный и озерно-речной (Цыбулин, 2009). Кроме того, на подтиповом уровне разделены аридные и гумидные варианты высокогорных орнитокомплексов. На Киргизском хребте для весенне-летнего периода описано 11 типов населения: высокогорные луговой и скально-стланиковый, среднегорные – лесной, лесокустарниковый, лесолугово-степной и предгорные пойменно-лесной, лесостепной, садовый, полупустынный и полевой. Синантропный надтип выделен как на Алтае, так и на Киргизском хребте. Последний разделен на четыре типа по уровням высот. Лесной тип в обоих регионах номинально одинаков, а полупустынный присутствует только на Тянь-Шане. Из-за необследованности озер на Киргизском хребте по этой территории выделен только речной тип, а на Алтае – единый озерно-речной. Таким образом, по Киргизскому хребту полученное деление на типы более дробное, чем по Алтаю, причем не только из-за представленности полупустынного населения, но и из-за большей неоднородности характеристик орнитокомплексов.

Зимой население птиц Киргизского хребта делится на 10 типов (Давранов, 2016): два высокогорно-луговых (альпийский и субальпийский), два лесостепных (среднегорный и предгорный) и один полупустынный (предгорный). Население поселков разделено на четыре типа (высокогорный, среднегорный и два предгорных). Орнитокомплексы рек образуют единый тип. В предвесенний период выделено пять типов: высокогорный, высокогорно-среднегорный, среднегорно-предгорный, предгорный и речной. Уменьшение числа типов связано со значительным сходством в

предвесеннее время ряда орнитокомплексов застроенных и незастроенных территорий и выделением по этой причине общих типов. Весной и в весенне-летний период деление на типы ближе к таковому в зимнее время, а не в предвесеннее. На Алтае наряду с влиянием абсолютных высот местности четко, хотя и на уровне подтипа, прослежено воздействие различий в увлажнении. Это приводит к парности сходных подтипов населения птиц – аридных и гумидных. В мозаичных и открытых местообитаниях на Алтае на уровне подтипа прослежены те же отличия, что и на Тянь-Шане. Синантропный тип сообществ на Алтае подразделен на два подтипа в соответствии с размерами населенных пунктов и степенью постоянства пребывания людей (стойбищный и поселковый). На Тянь-Шане на уровне типа прослежены отличия в зависимости от абсолютных высот местности. Суммарная информативность представлений о неоднородности весенне-летнего населения на Киргизском хребте выше, чем в первой половине лета на Алтае (81 и 66 %), так же как оценки для большинства общих факторов (обводненности, застроенности, распашки), кроме облесенности. Эти отличия связаны с объемом выборки, значительно большим по Алтаю, и соответственно с большей внутренней неоднородностью орнитокомплексов. Большую, чем на Тянь-Шане, оценку связи с облесенностью определяет наличие на Алтае настоящих высокополнотных лесов, в то время как на Тянь-Шане они сильно разрежены. Системы аппроксимирующих признаков среды по указанным режимам существенно неодинаковы из-за различий в размерах выборки, ее неоднородности и степени обобщения. С зимы до весны в основные структурообразующие факторы входят водность, застроенность и кормность. В весенне-летний период к ним добавляется продуктивность биоценозов – признак, сильно скоррелированный с кормностью и абсолютными высотами местности.

Состав преобладающих по типам населения видов на Алтае и Тянь-Шане существенно различен. Общими для обеих горных стран можно считать перевозчика, сизого голубя, горную и маскированную трясогузок, горного и степного коньков, черноголового чекана, каменку-плясунью, каменку, серую славку, зарничку, зеленую пеночку, гималайского вьюрка, чечевицу, домового и полевого воробьев, скворца, сороку и черную ворону. Для северного макросклона Киргизского хребта специфичны как лидеры в весенне-летний период: кеклик, чернолобый сорокопуд, индийский и черногрудый воробьи, майна, клушица. Для Алтая это горбоносый турпан (*Melanitta deglandi* Bonaparte, 1850), хохлатая чернеть (*Aythya fuligula* Linnaeus, 1758), гоголь (*Bucephala clangula* Linnaeus, 1758), красноголовый нырок (*Aythya ferina* Linnaeus, 1758), полевой конек (*Anthus campestris* Linnaeus, 1758), варакушка (*Cyanosylvia svecica* Linnaeus, 1758), теньковка (*Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817), пухляк (*Parus montanus* Bald, 1827) и бурая пеночка (*Phylloscopus fuscatus* Blyth, 1842). Отличия в составе лидеров связаны с большими абсолютными высотами Киргизского хребта и большей облесенностью Алтая, поэтому на Тянь-Шане в составе лидеров велико участие горных видов, а на Алтае – лесных и за счет обследованности озер – водоплавающих.

В весенне-летний период на Киргизском хребте плотность и биомасса населения выше, чем на Алтае (Давранов, 2014), а общее видовое богатство в 2–7 раза меньше на Киргизском хребте, но число фоновых видов почти одинаково. Количество встреченных видов, так же как фоновых, в весенне-летнее время в открытых бедных местообитаниях выше до 4 раз, чем зимних показателей. Для малых высокогорных и среднегорных поселков показатели почти одинаковы. В остальных местообитаниях общее число встреченных видов больше в 2–4 раза.

Плотность населения, биомасса, видовое и фоновое богатство, как правило, на Киргизском хребте возрастают с уменьшением абсолютных высот местности, и только в предгорьях в оба сезона значения закономерно меньше для полупустынь и полей. Показатели плотности зимнего населения по сравнению с весенне-летним периодом в бедных местообитаниях ниже в 7–14 раз, в закрытых – в 2–4 раза, а в предгорных малых поселках – в 6 раз. В высокогорных малых поселках и крупных поселках предгорий показатели почти одинаковые. На речках птиц в три раза больше. Показатели биомассы для многих местообитаний в 2–3 раза выше, чем зимой. Для

высокогорных малых поселков, полей и полупустынь показатели почти не отличаются. В лесолуговых, степных и садовых местообитаниях суммарная биомасса птичьего населения меньше, чем зимой.

Число преобладающих по обилию фаунистических типов в населении обеих территорий почти одинаково: шесть на Алтае и семь на Тянь-Шане. В обоих горных регионах представители европейского типа фауны и транспалеаркты входят в число преобладающих во всех поясах. Птицы китайского типа фауны доминируют в среднегорьях и высокогорьях, а монгольского типа – в высокогорных и предгорных местообитаниях. Представителей сибирского типа фауны на Алтае много в среднегорьях и высокогорьях, а на Киргизском хребте – только в высокогорьях. Средиземноморские виды на Тянь-Шане доминируют во всех поясах, а на Алтае они не входят в число доминирующих. Представители тибетского типа в обоих регионах преобладают только в высокогорьях. Эти отличия связаны с большей облесенностью Алтая, меньшей степенью аридизации его и в целом меньшими абсолютными высотами местности. Весной на Киргизском хребте чаще встречаются представители европейского, средиземноморского, монгольского и китайского типов фауны, а также транспалеаркты. В первой половине лета на Алтае чаще отмечали птиц, отнесенных к транспалеарктам, китайскому, сибирскому и монгольскому типам фауны.

Межсезонные сравнения показывают, что транспалеаркты с зимы до весенне-летнего периода доминируют в среднегорных и предгорных местообитаниях. Доля их значительно меньше в высокогорьях. Тибетские, монгольские и китайские виды, напротив, чаще встречаются в высокогорьях и среднегорьях. Европейский тип фауны присутствует почти во всех местообитаниях, но больше их в среднегорных и предгорных местообитаниях. Средиземноморские формы в высокогорных местообитаниях встречаются часто, а в среднегорьях и предгорьях доминируют во многих местообитаниях.

Межгрупповое сходство населения птиц (в пересчете на одну значимую связь, отраженную на графе по Алтаю) втрое меньше, чем на Киргизском хребте, а внутригрупповое примерно такое же (4 и 18 %). Эти различия связаны, видимо, с большим объемом собранного по Алтаю материала и соответственно с большим разнообразием орнитокомплексов.

Заключение

Таким образом, границы распространения типов весеннего и весенне-летнего населения птиц совпадают с уровнем высот только для орнитокомплексов застроенной суши. Изменения внутри типов населения связаны с различиями в закустаренности, облесенности и распаханности, а также с составом агрокультур. Наибольшие показатели суммарного обилия и видового богатства свойственны среднегорно-предгорным местообитаниям. Водно-околоводное население птиц в весенний период с орнитокомплексами застроенных территорий имеет лишь слабую связь и значительную в весенне-летний период, зимой ее вообще нет. Население птиц сильно изменяется в предвесенний период, а в весенне-летний изменения незначительны. Зато увеличивается количество значимых структурообразующих факторов. На Алтае структура населения на типовом уровне почти не изменяется в течение года. И на Киргизском хребте (весенне-летний период), и на Алтае (в первой половине лета) транспалеаркты и представители европейского типа фауны преобладают во всех высотных поясах, а средиземноморского – только на Киргизском хребте. Тибетские птицы чаще встречаются на высокогорьях обоих регионов.

Библиография

Давранов Э. Границы сезонных аспектов населения птиц северного макросклона Киргизского хребта // Алтайский зоологический журнал. 2011. Вып. 5. С. 74–88.

Давранов Э. Сезонная и высотно-поясная динамика населения птиц Киргизского хребта (Северный Тянь-Шань) // Вестник Бурятского государственного университета. Улан-Уде, 2014. Вып. 4. С. 36–43.

Давранов Э. Пространственно-типологическая структура и организация зимнего и предвесеннего населения птиц северного макросклона Киргизского хребта (Северный Тянь-Шань) // Сибирский экологический журнал. 2016. № 6. С. 900–910.

Иванов А. И. Каталог птиц СССР . Л.: Наука, 1976. 275 с.

Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография . Новосибирск: Наука, 2008. 184 с.

Степанян Л. С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области) . М: ИКЦ «Академкнига», 2003. 808 с.

Трофимов В. А. Модели и методы качественного факторного анализа матрицы связи // Проблемы анализа дискретной информации. Новосибирск, 1976. Ч. 2. С. 24–36.

Трофимов В. А., Равкин Ю. С. Экспресс-метод оценки связи пространственной неоднородности животного населения и факторов среды // Количественные методы в экологии животных. Л., 1980. С. 113–115.

Штегман Б. К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики. Фауна СССР. Птицы . Т. 1. Вып. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 157 с.

Цыбулин С. М. Птицы Алтая . Новосибирск: Наука, 2009. 236 с.

Благодарности

Все расчеты проведены с помощью пакета программ банка данных лаборатории зоологического мониторинга ИСиЭЖ СО РАН И. Н. Богомоловой и Л. В. Писаревской, рисунки выполнены Т. А. Кузнецовой. Автор искренне признателен им за помощь в работе, а также Ю. С. Равкину – за консультации и редактирование статьи.

SPATIAL-TYOLOGICAL STRUCTURE AND ORGANIZATION OF THE SPRING AND SPRING-SUMMER BIRD COMMUNITIES OF THE NORTHERN MACROSLOPE OF THE KYRGYZ RIDGE (TIEN-SHAN)

**DAVRANOV
Egemberdi**

*ISEA SB RAS (630091, Novosibirsk-91, Frunze st., 11),
egemberdi@inbox.ru*

Keywords: bird communities, territorial heterogeneity, environmental factors, assessment of linkages, structure, classification

Summary: Hierarchical classifications were comprised and the spatial-typological structure of the spring and spring-summer bird population of the northern macroslope of the Kyrgyz Range was revealed. Using the linear qualitative approximation the descriptiveness of obtained classification and structural representations was calculated, and the variability of communities due to environmental factors was assessed. The structure and organization of the bird communities were compared in Tien Shan and Altai in these periods as well as in winter and early spring .

Received on:

30 May 2017

Published on:

30 June 2017



УДК 574.587: 574.24

ЗООБЕНТОС ЧУКОТСКОГО МОРЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

**КИРИЕВСКАЯ
Дубрава
Владимировна**

*Новгородский государственный университет имени
Ярослава Мудрого (173003, Великий Новгород, ул.
Большая Санкт-Петербургская, д. 41),
dubrava.kirievskaya@gmail.com*

**Ключевые
слова:**

зообентос,
Чукотское море,
биомасса,
биоразнообразие,
поллютанты

Получена:

12 августа 2016
года

**Подписана к
печати:**

04 июля 2017
года

Аннотация. Чукотское море представляет собой арктический регион, где последнее время наблюдаются быстрые изменения в экосистеме. Бентос, анализируемый в статье, является одним из наиболее чувствительных индикаторов этих изменений, вызванных как природными, так и антропогенными факторами. В оценку состояния бентоса Чукотского моря были положены данные, взятые за последние 30 лет. Анализ основывался на опубликованной литературе, базах данных и материалах полевых работ автора. На базе проанализированного материала современное состояние бентоса Чукотского моря отличается высоким видовым разнообразием по сравнению с остальными восточно-арктическими морями. Пространственное распределение биомассы донных беспозвоночных, как и их качественный состав, носит крайне неравномерный характер и определяется множеством факторов: глубиной, температурой и геохимическим составом грунтов, гидродинамикой и т. п. Также в последнее время в связи с изменением климата наблюдается тенденция переселения более теплолюбивых видов на север. Что же касается антропогенной нагрузки, то до сих пор ЧМ относится к акватории с низкой антропогенной нагрузкой. Течения, воздушные потоки, ледовый и айсберговый разнос не только приносят в экосистему загрязняющие вещества, но и выносят, т. е. способствуют ее очищению. Основная потенциальная опасность исходит от планируемой разработки месторождений нефти и газа и морского транспорта. Так, например, бентос вокруг нефтяных скважин «Бургер» и «Клондайк» характеризуется повышенным содержанием ртути. В статье описывается механизм воздействия поллютантов (ТМ, ХОС и ПАУ) на бентос. Опасность увеличения антропогенной нагрузки ставит задачу дополнительного выделения на акватории особо уязвимых и ценных зон для последующего придания им особого охранного статуса.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Чукотское море (ЧМ) представляет собой уникальный регион, находящийся на

стыке двух океанов – Тихого и Северного Ледовитого. Различные водные массы обуславливают смешанный характер фауны в этом регионе (Ушаков, 1952). Кроме того, глобальное изменение климата и увеличение темпов разработки нефти и газа в Арктике ставят вопрос о том, что же будет с экосистемой ЧМ в ближайшем будущем. Чтобы ответить на данный вопрос, нами был изучен важный компонент экосистемы ЧМ – зообентос. Зообентос – один из ключевых компонентов трофической цепи. Кроме того, он является хорошим индикатором всех изменений, происходящих во всей водной толще, на протяжении длительного периода времени (Arctic Ocean..., 2008).

Несмотря на довольно продолжительный период исследования донной экосистемы ЧМ, начавшийся еще в конце XIX века, она до сих пор слабо изучена (Сиренко, 2006). Основной проблемой является недостаточное в настоящее время совместное изучение акватории ЧМ в целом, как, например, советско-американский проект «Экология и динамика арктических морских экосистем» – БЕРПАК, предоставивший нам огромный объем доступной информации в своих публикациях (Results of..., 1992). Существует на сегодня достаточно много программ по изучению донной фауны ЧМ: «РУСАЛКА» (осуществляющая исследования для понимания причин и следствий климатических изменений в тихоокеанском секторе Северного Ледовитого океана), CAMIDA CAB (проводящая мониторинг бентоса и геохимической обстановки на участке нефтяного месторождения), CSESP (изучающая экосистему американского сектора ЧМ) и др. Но в основном они направлены на изучение отдельных, конкретных участков, а не акватории в целом. С целью проведения оценки распространения биомассы и биоразнообразия бентоса на всей акватории ЧМ автором был собран и проанализирован материал из разных источников (до 2012 г.). Для изучения потенциальных перемен в структуре донных сообществ в статье были описаны возможные факторы антропогенной нагрузки на бентосных беспозвоночных и выявлены современные тенденции в изменениях донных биоценозов.

Материалы

В работе были использованы материалы, полученные в экспедициях на ЧМ в 1988 и 1993 гг. в рамках советско-американского проекта БЕРПАК (Экология и динамика арктических морских экосистем); в 2004, 2005 и 2009 гг. в рамках совместного российско-американского экспедиционного проекта «РУСАЛКА», данные экспедиции ВНИИОкеангеология по российскому сектору Чукотского моря за 2006 г., данные за 2001, 2002, 2003 гг. из архивной базы данных SBI (Shelf Basin Interaction). Также информация о бентических, геоморфологических, гидрологических и антропогенных компонентах экосистемы ЧМ была взята из различных атласов АУДЮБОН, ИНСРОП, Экологического атласа Арктики; интернет-сайтов программ по изучению ЧМ: RUSALCA, COMIDA, PacMARS, DBO, SBI; интернет-сайтов программ по изучению Арктики: NOAA, AMAP, CAFF, INSROP и др.; от руководителей лаборатории Университета Мэрилэнда, США, Ж. Гребмаер и Л. Купера, а также из различных публикаций.

Методы

Количественные пробы бентоса отбирались дночерпателями (площадью 0.1 м² и 0.25 м²) в нескольких повторностях на каждой станции, животных промывали через сито размером ячеей 1 мм² и фиксировали раствором формалина для последующего определения видового состава. Биомассу донных сообществ («сырую биомассу») рассчитывали исходя из индивидуальных масс организмов, фиксированных формалином. Таксономический состав, численность и биомасса бентоса была пересчитана для площади в 1 м².

Всего было проанализировано 400 бентосных проб, отобранных с различных участков ЧМ. Для обработки информации использовался пакет Microsoft EXEL. Карты строились в среде ArcGIS 10 с применением модуля Spatial Analyst.

Результаты

Анализ распределения макрозообентоса

ЧМ является одним из самых мелководных морей Арктики, соответственно, доля фитодетрита, поступающего на дно из поверхностных слоев водной толщи, должна быть там высокой по сравнению с другими арктическими морями. Именно поэтому при площади, почти в три раза меньшей, чем площадь Баренцева моря, биоресурсы зообентоса ЧМ уступают баренцевоморским лишь менее чем в полтора раза (Денисенко и др., 2010).

Распределение биомассы донных организмов ЧМ носит крайне неравномерный характер (рис. 1). Наиболее высокая биомасса характерна для юго-восточной части моря, к северу от Берингова пролива доходящая до 4231 г/м^2 , среднее значение биомассы данного участка $\sim 1500 \text{ г/м}^2$. Наименьшая биомасса характерна для его северной, более глубоководной части. В прибрежных районах биомасса бентоса и разнообразие периодически сокращаются в результате размыва льда (Conlan and Kvitek, 2005) и поступления пресных вод. В результате воздействия аляскинских и анадырских прибрежных вод, берингоморских шельфовых вод бентосная биомасса неоднородна, но в основном невысока – от десятков до первых сотен метров на квадратный метр площади. В устьях рек биомасса бентоса в основном меньше, чем на акватории с исключительно морскими водами и условиями (Jørgensen et al., 1999).

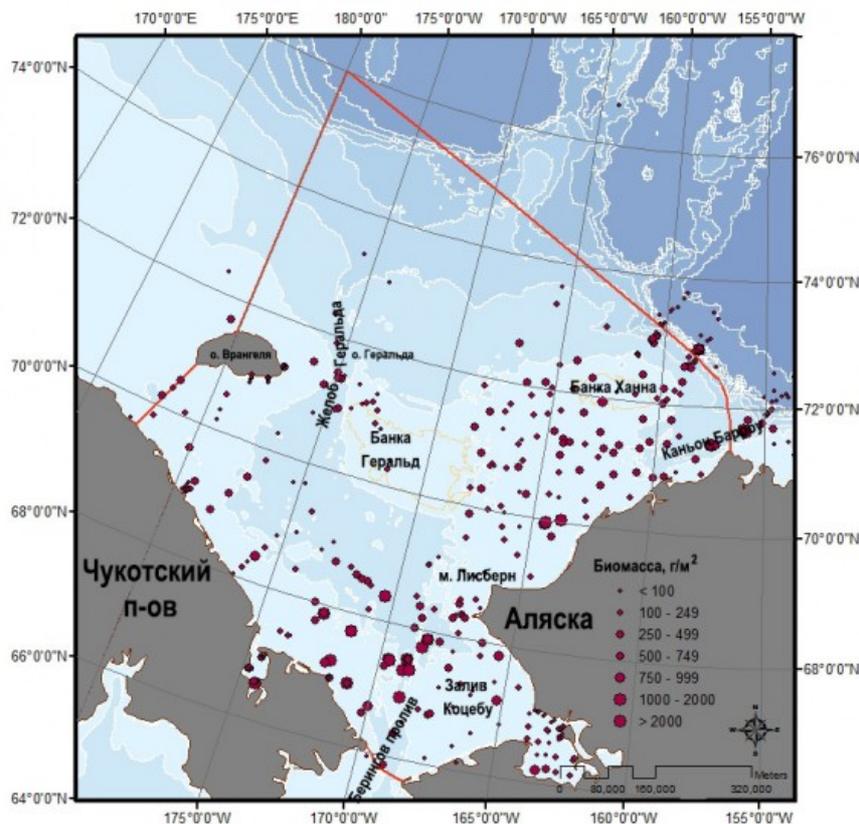


Рис. 1. Пространственное распределение биомассы зообентоса ЧМ (г/м^2)

Fig. 1. Zoobenthic biomass spatial distribution (g/m^2) in the Chukchi Sea

Определяющее влияние на качественный и количественный состав бентоса оказывают температура грунтов и придонного слоя воды, глубина бассейна (MacDonald et al., 2009), геоморфологическое расположение биоценоза, гидродинамика, тип и гранулометрический состав донных осадков (Grebmeier and Barry, 1991), геохимический состав донных осадков и придонной воды (Schonberg et al., 2014;

Dunton et al., 2014). Так, мы можем констатировать, что в каньонах (желобах) Барроу и Геральда наблюдаются относительно высокие значения биомассы зообентоса – до 4400 г/м² и до 600 г/м² соответственно, в отличие от биомасс бентоса банок Ханна и Геральда, характеризующихся относительно низкими значениями – 10–130 г/м² и 50–120 г/м² соответственно. Также в основном относительно низкие значения биомассы характерны для осадков с высоким содержанием песчаной фракции. Так, в заливе Коцебу, где преобладают осадки с высоким содержанием песка, за исключением участков, находящихся в зоне аляскинских прибрежных вод с высоким содержанием органического углерода, значения биомассы бентоса не велики – от 25–250 г/м². В то же время осадки с низким содержанием песка Южно-Чукотской равнины соответствуют высокой биомассе бентоса – 450–750 г/м². Однако здесь также большое значение имеет и глубина, и другие факторы, так, например, на наиболее тонкодисперсных осадках на больших глубинах биомасса бентоса не будет высокой. В открытой части ЧМ средняя биомасса зообентоса составляет примерно 300 г/м². Биомасса бентоса (как численность и биоразнообразие) падает с глубиной (за исключением ситуации желобов, где влияние оказывают геоморфологический и гидродинамический факторы). Так, на севере ЧМ с падением глубины бентосная масса меньше 100 г/м², биомасса в районе самой северной станции пробоотбора составляет около 10 г/м².

Донные биоценозы ЧМ имеют высокое видовое разнообразие (1435 видов) по сравнению с другими восточно-арктическими морями: 1143 – в море Лаптевых, 1008 – в Восточно-Сибирском море (Сиренко, 2010). Основную часть донной фауны ЧМ составляют эврибионтные, широко распространенные формы. Наибольший вклад в биоресурсы донных беспозвоночных ЧМ вносят 9 видов. Пять из них относятся к классу двустворчатых моллюсков, составляющих более 50 % биоресурсов зообентоса. Наибольшую значимость среди моллюсков имеет *Macoma calcaria*, *Ennucula tenuis*, *Astarte borealis*, *Nuculana radiata* и *Yoldia hyperborea*. На долю полихет, а также иглокожих приходится примерно по 11 % всех биоресурсов моря (Денисенко и др., 2010). Также здесь распространены и ракообразные. На северо-востоке их численность доходит до 21 %, обеспечивая им 3-е место по распространению после моллюсков и полихет с иглокожими (Schonberg et al., 2014).

Для ЧМ, так же как для других арктических морей, омывающих Евразию, характерно поясное распределение доминирующих групп беспозвоночных (Northern Sea..., 1998). Литоральная зона практически лишена населения. На глубине 5–8 м селятся макрофиты. На твердых грунтах с большим количеством гравийно-галечного материала преобладают бокоплавы и фауна видов-обрастателей, характерная для сходных глубин и грунтов других прибрежных арктических районов. На мягких грунтах, на заиленном песке и гальке (до глубин 5–6 м) наблюдаются морские тараканы; глубже – преобладают многощетинковые черви и/или асцидии (Голиков, 2010). Вдоль берегов Аляски и Чукотки, на галечном и заиленном песчаном грунте глубиной 30–50 м (юго-восточная часть ЧМ) располагаются баянусы (Сиренко и др., 2009).

Население основных площадей дна, занятых илистыми грунтами на глубине 30–50 м, очень близко к населению всех арктических морей на соответствующих глубинах. Основными формами являются: двустворчатые моллюски *M. calcaria*, *E. tenuis*, *N. pernula*, *Y. hyperborea*, офиуры *Ophiura sarsi*, *Ophiocten sericeum*, а глубже черви рр. *Golfingia*, *Echiurus* и полихеты сем. Maldanidae, морские звезды *Ctenodiscus crispatus*. Распределение биомассы двустворчатых моллюсков напоминает распределение общей биомассы зообентоса (Денисенко и др., 2010).

На юге центрального и юго-восточного районов ЧМ (плоских аккумулятивных равнинах) отмечено существование особо высокопродуктивных бентосных сообществ с экстремально высокой биомассой и высоким биоразнообразием. Высокая биомасса в данном районе обусловлена доминированием крупных двустворчатых моллюсков *E. tenuis* и *M. calcaria*. Существование таких высокопродуктивных сообществ, скорее

всего, является результатом влияния богатых биогенами круговоротов воды, поступающих через восточную часть Берингова пролива, зарождающихся в северо-западной части Берингова моря (Сиренко и др. 2009). На аккумулятивной равнине, расположенной на юго-востоке от высокопродуктивного сообщества перечисленных моллюсков, по биомассе преобладают моллюски рода *Nuculana* и офиуры *O. sarsi*, но по численности преобладают многощетинковые черви *Sternaspis scutata*, двустворчатые моллюски *Nuculana sp.*, *Thyasiridae gen. sp.* и амфиподы. В районе впадины, тянущейся вдоль Чукотского полуострова, характеризующейся пониженной гидродинамической активностью и высокой степенью аккумуляции, располагается сообщество двустворчатых моллюсков рода *Nuculana* и многощетинковых червей *Maldane sarsi*, которое также представляет собой обедненный вариант сообществ двустворчатых моллюсков, где большую роль играют черви-грунтоеды. На плоских аккумулятивных равнинах юго-западной части ЧМ по биомассе доминируют двустворчатые моллюски *Y. hyperborea*, *M. calcarea* и *Astarte sp.* По численности же преобладают многощетинковые черви: *Scalibregma inflatum*, *Paraninoe minuta* и *Chaetozone spp.*

На абразионных террасах, склонах и вершинах подводных возвышенностей, представленных плотными песчанистыми грунтами, по биомассе начинают доминировать офиуры, почти равномерно присутствующие на акватории ЧМ, хотя по численности преобладают полихеты родов *Chaetozone*, *Nephtys* и двустворчатые моллюски рода *Nuculana*. На вершине банки Геральда и на ее склонах расположен биоценоз бокоплавов, в инфауне под галькой – немногочисленные двустворчатые моллюски и офиуры. На склоне банки, примерно от 10 до 25 км от ее центра, биоразнообразие повышается, в биоценозах доминируют двухстворчатые моллюски и полихеты (Голиков, 2010; Кириевская и др., 2012). В сообществе банки Ханна доминируют двустворчатые моллюски, затем идут бокоплавы, на склонах встречаются также полихеты.

В районе материкового побережья Чукотского п-ова, в побережье о-вов Геральда и Врангеля на грунтах с большим количеством гравийно-галечного материала располагается сообщество видов-обрастателей с доминированием асцидий, мшанок и губок. У о-вов Врангеля и Геральда наблюдаются скопления голотурий рода *Psolus*. На севере, в желобе Геральда, локально доминируют полихеты (*M. sarsi*, *Nicomache lumbricalis*, *Nephtys ciliata*), офиуры (*O. sarsi*) и сипункулиды (*G. margaritacea*), также там были встречены в обилии мягкие кораллы, мшанки, губки (Сиренко и др., 2006).

На севере и в центре ЧМ по биомассе преобладают грунтоеды с доминированием червей *Golfingia sp.*, *Echiurus sp.*, *Maldanidae var.* и морских звезд *C. crispatus*. По численности преобладают амфиподы, фораминиферы, многощетинковые черви.

На северо-востоке ЧМ наибольшей биомассой обладают двухстворчатые моллюски *M. calcarea* и *N. pernula* и сипункулида *G. margaritacea*. По распространению доминируют полихеты *M. sarsi*, *Owenia cf. assimilis*, моллюски *N. pernula*, *Musculus discors* и ракообразные *Brachydiastylis resima*, *Pontoporea femorata*.

В восточной части моря и в Беринговом проливе отмечены голотурии и плотные поселения морских ежей. У мыса Лисберн доминируют двухстворчатые моллюски *Musculus niger*. Вдоль побережья Аляски на глубине 13–19 м доминируют полихеты (Сиренко, 2009). В заливе Коцебу доминируют полихеты *S. scutata* и двухстворчатые моллюски *Nuculana radiata* (Feder, 2007).

Асцидии, морские ежи, усконогие раки, амфиподы и актинии формируют скопления преимущественно в южной части моря, в зоне наибольшей динамики вод, причем, судя по расположению локальных максимумов биомассы для этих групп, они, как правило, не накладываются друг на друг (Денисенко и др., 2010).

В целом в пространственном распределении видового состава зообентоса сотрудниками ЗИН РАН выявлена тенденция замещения сообществ с доминированием организмов-фильтраторов, обитающих в основном в самой южной и крайней северо-западной частях моря, на сообщества детритофагов-собирателей, которые обитают в западной и юго-западной частях моря. Грунтоеды доминируют в восточной и северо-

восточной частях моря. Наиболее высокие биомассы хищников совпадают с местами скопления животных-фильтраторов. Основу донных сообществ составляют устойчивые популяции бентосных животных с медленной сменой поколений (Денисенко и др., 2010).

Что касается вопросов воздействия на экосистему ЧМ изменения климата и антропогенной деятельности, то уязвимость экосистемы ЧМ (с небольшими глубинами и короткими пищевыми цепями) к изменениям окружающей среды считается высокой (Grebmeier et al., 2006). Хотя анализ бентосных данных в ЧМ пока не отмечает существенных изменений за последние 30 лет, Б. И. Сиренко указывает на локальное проникновение относительно тепловодных тихоокеанских видов: краба *Telmessus cheiragonis* и *Oregonia grasilis* и двухстворчатого моллюска *Pododesmus macrochisma*, что указывает на потепление ЧМ (Сиренко, 2007). Таким образом, потенциальными последствиями изменения климата для бентоса ЧМ являются сдвиги в его видовом составе и численности на север (Grebmeier, 2012). Можно предположить, что в будущем тренд движения бореальных видов на север будет сохраняться, вытесняться будут более крупные арктические виды. Наряду с этим будет наблюдаться тенденция сокращения биомассы бентоса из-за уменьшения количества и качества органического материала, попадающего из водной толщи на дно, вследствие развития фитопланктонных сообществ (Kedra et al., 2015).

Ведущие факторы изменений в бентосных сообществах – изменение климата и, особенно, антропогенное воздействие – могут быть причиной необратимых изменений в сообществах, приводящих к коллапсу.

Антропогенная нагрузка. Источники и основные пути поступления поллютантов

До сих пор ЧМ относится к акватории со сравнительно низкой антропогенной нагрузкой по сравнению с остальными арктическими морями. Тем не менее в настоящее время основными источниками антропогенного загрязнения Чукотского моря, роль которых, по-видимому, со временем будет возрастать, являются морской транспорт и добыча нефти и газа на шельфе. Опасность исходит от планируемой разработки месторождений нефти и газа у побережья Аляски. Осенью 1989 и 2012 гг. делались попытки бурения скважины «Бургер» и в 1989 г. – скважины «Клондайк» (рис. 2).

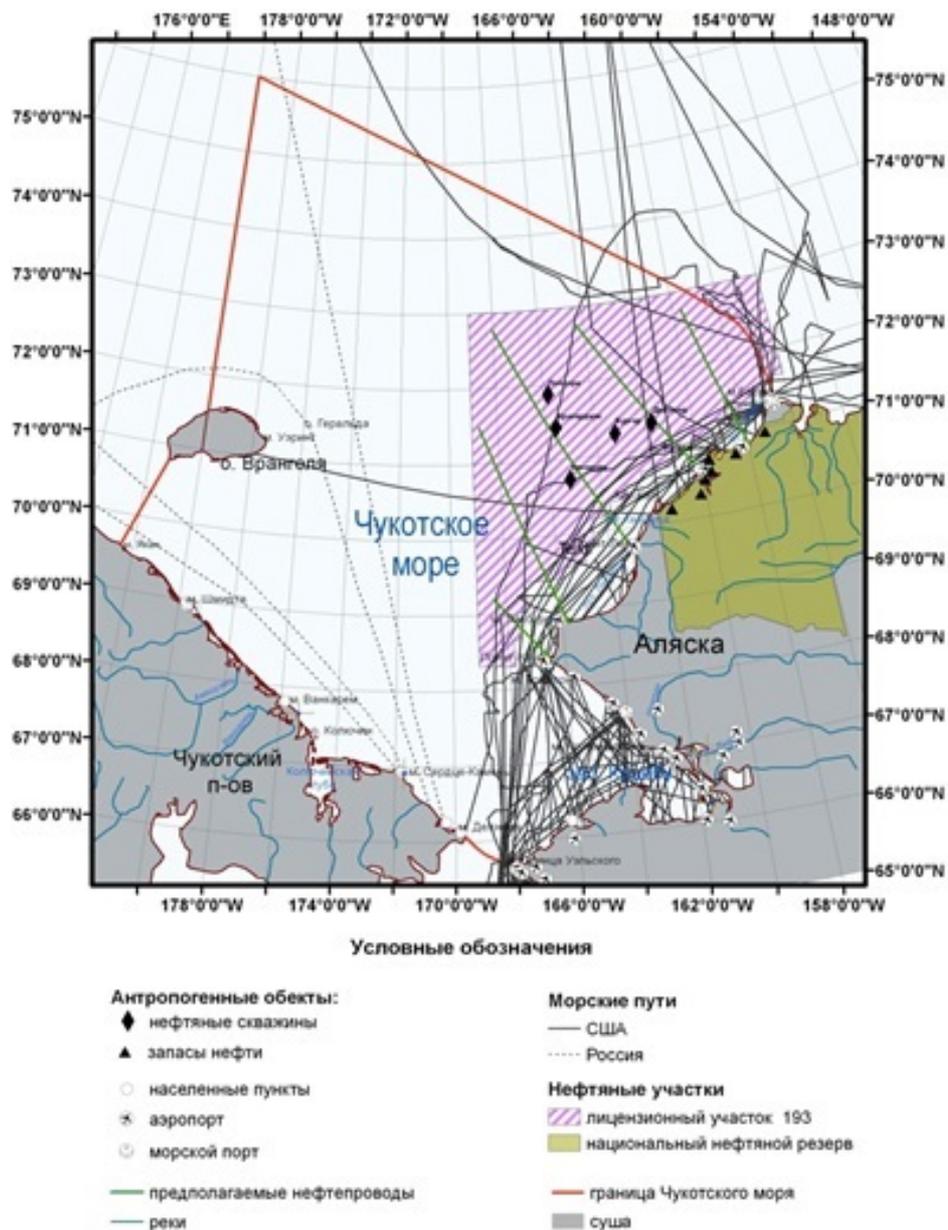


Рис. 2. Источники загрязнения ЧМ
Fig. 2. Water pollution sources of the Chukchi Sea

Хотя в настоящее время бурильные работы в ЧМ приостановлены, тем не менее это продолжает нести одну из главных потенциальных угроз для изучаемой акватории. На рис. 2 показаны основные траектории судов, месторождения нефти и газа, а также аэропорты, морские порты и населенные пункты, являющиеся источниками поступления в ЧМ загрязнителей. Загрязняющие вещества в ЧМ поступают также извне. Основные пути переноса загрязняющих веществ в ЧМ показаны на рис. 3.

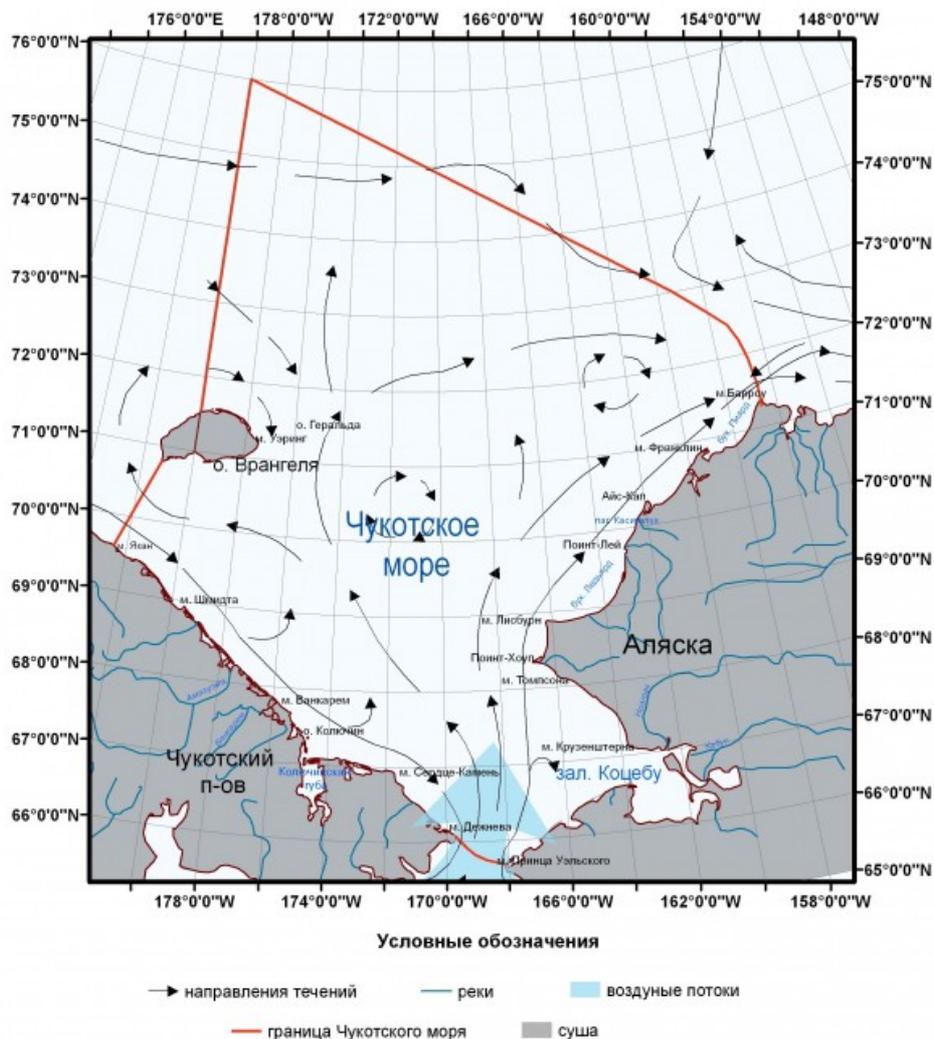


Рис. 3. Основные пути поступления (распространения) в ЧМ загрязняющих веществ

Fig. 3. The main ways of contaminants distribution in the Chukchi Sea

Течения, воздушные потоки, ледовый и айсберговый разнос могут не только приносить в экосистему загрязняющие вещества, но и выносить, т. е. способствовать ее очищению. Также течения играют большую роль при распространении (пространственном и временном) загрязнения по акватории. Особенно для ЧМ это актуально в случае нефтяных разливов. Другая важная черта в общей картине поведения и распределения поллютантов в ЧМ состоит в их локализации на границе раздела водных масс с атмосферой и дном, где концентрации всех поллютантов значительно превосходят соответствующие уровни в морской воде. Еще 20 лет назад во всех основных компонентах ЧМ: донной биоте, придонной воде, донных осадках, – были обнаружены тяжелые металлы, ароматические хлорированные углеводороды и другие загрязняющие вещества, несмотря на значительную отдаленность ЧМ от существующих тогда зон активной хозяйственной деятельности (Израиль и др., 1992). В настоящее время эта тенденция сохраняется. Так, Дж. Треффри (Trefry et al., 2014) в северо-восточном секторе ЧМ обнаружил повышенные содержания ртути, меди и свинца в поверхностном слое донных осадков в 500 м от скважин «Бургер» и «Клондайк», А. Л. Фокс определил повышенные содержания ртути в эпибентосе: брюхоногих моллюсках и крабах (Fox et al., 2012).

Воздействие поллютантов на бентос

Тяжелые металлы, хлорорганические соединения, полиароматические

углеводороды обладают канцерогенными свойствами. Соответственно эти соединения являются губительными для бентоса, поскольку накапливаются в организме беспозвоночных и способны вызывать необратимые изменения, патологии.

Как известно, бентос накапливает в себе вещества из окружающей среды. Mg, Sr, Zn являются элементами сильного биологического накопления; Ba, Ga, Ni, Pb, Hg относятся к элементам среднего биологического захвата; Cd, Zr, Ti, V – элементы слабого и очень слабого биологического захвата (Лисицин, 1986). Хлорорганические соединения приоритетнее всего накапливают полихеты, мягкие кораллы, губки, неподвижные сестонофаги (Арктические моря, 2004).

Аккумуляция нефти в морских организмах происходит за счет биосорбции на контактирующих с водой органах и тканях (покровные ткани, жабры и др.) и ее поглощения в процессе питания. Концентрация нефтяных углеводородов, как и любых поллютантов, в живых организмах определяется соотношениями между скоростями их поступления, интенсивностью ферментативного разложения в органах и тканях, а также скоростями их выведения. Так, образцы тканей наиболее распространенных представителей бентоса Чукотского моря – моллюсков и полихет, отобранные в месте буровой скважины «Клондайк», содержали только 5 % и 10 % соответственно от общей концентрации ПАУ поверхностных осадков (Neff et al., 2010). Способность отдельных видов бентосных организмов к самовыведению органического загрязнения из организма подтверждается исследованиями брюхоногих моллюсков Чукотского моря (*Neptune heroes*) Р. Харвеем (Harvey et al., 2012). Благодаря липофильным свойствам нефтяные углеводороды также тяготеют к органам и тканям с повышенным содержанием жиров и липидов, в том числе к мембранным структурам. Так, аккумуляция ПАУ беспозвоночных наиболее характерна для их репродуктивных органов и пищеварительных желез, обогащенных липидами (Harvey et al., 2014). Вредное биологическое действие сырой нефти на бентос проявляется как в результате физического контакта нефтяной пленки с организмами, обитающими в донных осадках и на берегу, так и за счет токсических свойств растворенных в морской воде или аккумулялированных в донных осадках углеводородов.

Опасность освоения нефтегазовых месторождений, увеличение объемов транспортировки нефти обуславливают необходимость разработки природоохранных мер защиты экосистемы ЧМ. Среди таких мер предлагается выделение особо уязвимых и ценных зон для последующего придания им особого охраняемого статуса и/или введения в них специального режима для разных видов деятельности. Такую роль играют особо охраняемые природные территории (ООПТ) ЧМ (рис. 4).

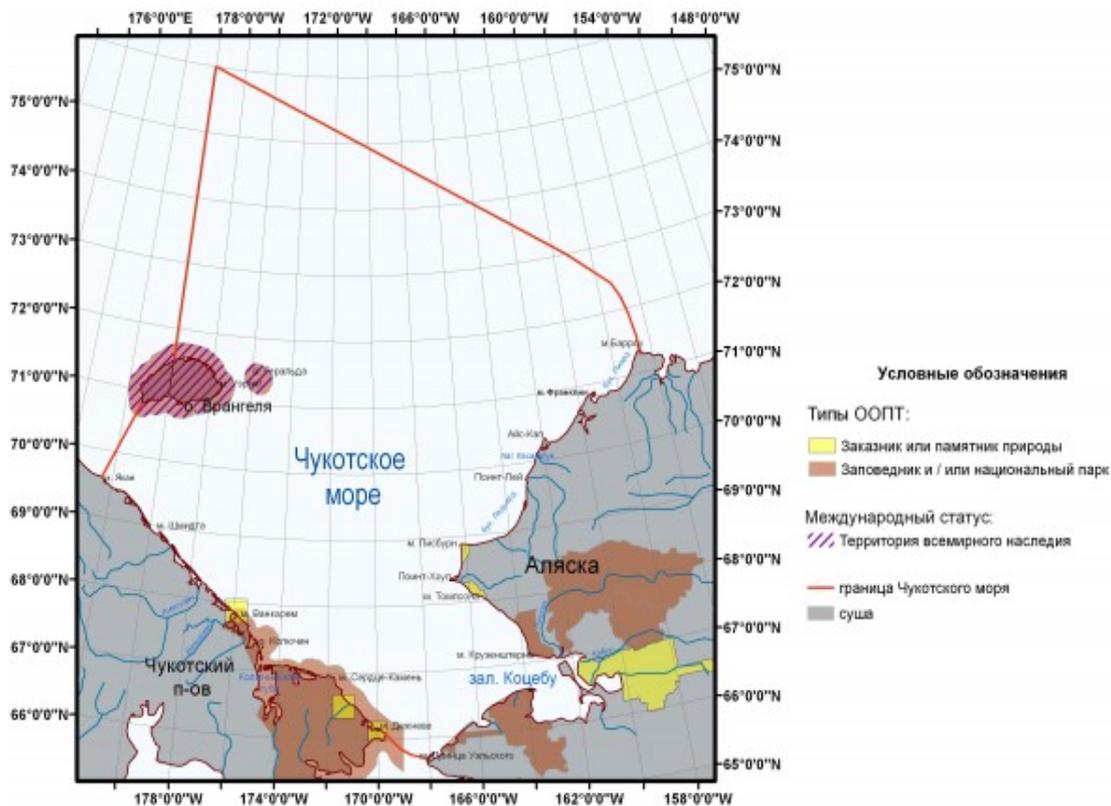


Рис. 4. Прибрежные и морские ООПТ Чукотского моря
Fig. 4. Protected Areas in the Chukchi Sea

Объектов с охраным статусом в ЧМ и его прибрежных территориях явно не достаточно. Так, в настоящее время менее чем 2 % арктической береговой зоны Аляски защищено от будущих разработок энергоносителей (Arctic Marine Synthesis, 2010). С морскими ООПТ дело обстоит еще хуже, особенно в российской части акватории. Многие экологически важные места обитания Аляски в связи с разработкой нефтегазовых месторождений могут исчезнуть уже в ближайшие годы. Так, например, пока существуют временные отсрочки для открытия лицензионных участков для разработки нефти поблизости от Вайнрайта (лагуна Касегалук). Эти отсрочки, однако, истекнут на протяжении следующих нескольких лет, что вновь откроет эти области для разработки. В настоящее время 3 миллиона акров области расположения национального нефтяного резерва сданы в аренду для разработки нефти и газа. Никакой постоянной защиты живой природы сейчас пока не существует (Arctic Marine Synthesis, 2010). Также для защиты некоторых, наиболее экологически значимых участков проводятся комплексные экологические исследования. Одна из задач этих исследований – научно обосновать необходимость присвоения этой территории особого охранного статуса и вывести ее из лизинга. Примером такой природо-защитной деятельности служит проект COMIDA, основной целью которого является научно подтвердить необходимость присвоения акватории банки Ханна особого статуса, не позволяющего разработку нефтегазовых месторождений на этой территории (民事再生で借金の返済, 2015). Таким образом, проведенный литературный анализ показывает, что наиболее актуальным для дальнейшего исследования является вопрос оценки уязвимости экосистемы ЧМ к разливам нефти и связанных с этим явлений.

Заключение

ЧМ характеризуется крайне неравномерным распределением бентосных

беспозвоночных. Экстремально высокие значения биомассы обусловлены влиянием богатых биогенами круговоротов воды, характерны для юго-восточной части ЧМ, к северу от Берингова пролива. Наименьшие значения биомассы отмечаются на севере ЧМ, где идет понижение глубин. Наибольший вклад в биомассу бентоса вносят моллюски (около 50 %). Учитывая мелководность и выровненный характер морского дна, распределение донных беспозвоночных носит ярко выраженный континуальный характер. Донные сообщества отличаются друг от друга по большей части различной перекомбинацией доминирующих видов. Данные по исследованию бентоса ЧМ не выявляют существенных изменений в донных сообществах за последние 30 лет. Однако многие факты свидетельствуют о наметившихся изменениях в структуре бентосных сообществ. На состояние и состав бентоса значительное влияние оказывает изменение климата, в результате которого из Берингова моря поступают более теплолюбивые виды. Пока у исследователей недостаточно данных, чтобы говорить о темпах и масштабах этого явления, но тренд движения бореальных видов на север (в ЧМ) будет сохраняться, также будут вытесняться и арктические виды, что неизбежно повлечет смену сообществ. Помимо природных факторов, на увеличение нагрузки на бентосные сообщества могут оказывать влияние и антропогенные факторы. Так, главным потенциальным источником поступления загрязняющих веществ, губительных для бентоса, является деятельность по разработке нефтегазового месторождения в районе северного склона Аляски и морские перевозки. В связи с этим наиболее актуальным для дальнейшего исследования является вопрос оценки уязвимости бентоса ЧМ от разливов нефти и связанных с этим последствий.

Библиография

- Арктические моря / Ред. И. С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребницкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.
- Голиков А. Н., Сиренко Б. И., Голиков А. А., Петряшев В. В., Гагаев С. Ю. Распределение донных беспозвоночных мелководий Чукотского моря по материалам водолазных исследований // Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря. Т. 2. Исследования фауны морей. М.: Наука, 2010. С. 56.
- Денисенко С. Г., Сиренко Б. И., Петряшев В. В. Биоресурсы зообентоса в Чукотском море // Тезисы Международной научной конференции «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08» 21–23 апреля 2010 г. СПб., 2010. С. 239–240.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей. Вып. 3. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 182 с.
- Кириевская Д. В., Кийко О. А., Шилин М. Б. Оценка современного состояния донной экосистемы юго-восточной части Чукотского моря // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2012. № 23. С. 117–125.
- Лисицын А. П. Биодифференциация вещества в океане и осадочный процесс // Биодифференциация осадочного вещества в морях и океанах. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1986. С. 3–66.
- Сиренко Б. И. Состояние изученности фауны Чукотского моря // Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря. Т. 2. Исследования фауны морей. СПб.; М.: Наука, 2010. С. 163–198.
- Сиренко Б. И., Гагаев С. Ю. Изучение бентосной фауны в Чукотском море – история и новые результаты экспедиций по программе «Русалка» в 2004 и 2005 годах. 2006. URL: http://www.arctic.noaa.gov/aro/russian-american/2004_2005/russian.pdf (дата обращения 11.08.2016).
- Сиренко Б. И., Гагаев С. Ю. Необычное обилие макробентоса и тихоокеанские вселенцы в Чукотском море // Биология моря. 2007. Т. 33. № 6. С. 399–407.
- Сиренко Б. И., Денисенко С. Г., Гагаев С. Ю., Петряшев В. В. Донные сообщества шельфа Чукотского моря глубже 10 м // Экосистемы и биоресурсы Чукотского моря. 2009. Вып. 64 (72). С. 32–56.

Ушаков П. В. Чукотское море и его донная фауна // Крайний Северо-Восток Союза ССР. (Б. м.): Изд-во АН СССР, 1952. Т. 2: Фауна и флора Чукотского моря / Под ред. П. В. Ушакова. С. 5–82.

Arctic Marine Synthesis. Atlas of the Chukchi and Beaufort Seas / Melanie A. Smith. Audubon Alaska, Anchorage. January 2010. URL: <http://ak.audubon.org/conservation/arctic-marine-synthesis-atlas-chukchi-and-beaufort-seas> (дата обращения 07.06.2017).

Arctic Ocean Synthesis: Analysis of Climate Change Impacts in the Chukchi and Beaufort Seas with Strategies for Future Research / Editors: R. Hopcroft, B. Bluhm, R. Grandinger; Institute of Marine Science, University of Alaska, Fairbanks. 2008. 184 p.

Conlan, K.E. and R.G. Kvitek. Recolonization of soft-sediment ice scours on an exposed Arctic coast. *Marine Ecology Progress Series*. 2005. Vol. 286. P. 21–42.

Dunton K. H., Grebmeier J. M., Trefry J. H. The benthic ecosystem of the northeastern Chukchi Sea: An overview of its unique biogeochemical and biological characteristics // *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014. Vol. 102. P. 1–8. doi: 10.1016/j.dsr2.2014.01.001.

Feder H. M., Jewett S. C. & Blanchard A. Southeastern Chukchi Sea (Alaska) macrobenthos // *Polar Biol*. 2007. Vol. 30. P. 261–275.

Fox A. L., Hughes E. A., Trocine R. P., Trefry J. H., McTigue N. D., Lasorsa B. K., and Konar B. Regulation of Zink and Biomagnification of Mercury in Biota of Northeastern Chukchi Sea // *Chukchi Sea Offshore Monitoring in Drilling Area (COMIDA): Chemical and Benthos Final Report*. Bureau of Ocean Energy Management, Anchorage, AK. P. 67–90 (7/1/2012–11/28/2012).

Grebmeier J. M. Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and Sub-Arctic seas // *Rev. Mar. Sci*. 2012. Vol. 4. P. 63–78.

Grebmeier J. M., Barry J. P. The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: a benthic perspective // *J. Mar. Syst*. 1991. P. 495–518.

Grebmeier J. M., Cooper L. W., Feder H. M., and Sirenko B. I. Ecosystem Dynamics of the Pacific-Influenced Northern Bering and Chukchi Seas // *Progress in Oceanography*. 2006. Vol. 71. P. 331–361.

Harvey H. R., Taylor K. A., Pie H. V., Mitchelmore C. L. Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons in Chukchi Sea biota and sediments and their toxicological response in the Arctic cod, *Boreogadus saida* // *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014. Vol. 102. P. 32–55. doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.07.013

Jørgensen L. L., Pearson T. H., Anisimova N. A., Gulliksen B., Dahle S., Denisenko S. G., Matishov G. G. Environmental influences on benthic associations of the Kara Sea (Arctic Russia) // *Polar Biol*. 1999. Vol. 22. P. 395–416.

Kedra M., Moritz C., Choy E., David C., Degen R., Duerksen S., Ellingsen I., Górska B., Grebmeier J., Kirievskaya D., van Oevelen D., Piosz K., Samuelsen A., & Węśławski J. Status and trends in the structure of Arctic benthic food webs // *Polar Research*. 2015. Vol. 34. doi: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.23775>.

MacDonald, Ian R., et al. Benthic macrofauna and megafauna assemblages in the Arctic deep-sea Canada Basin // *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2010. P. 136–152.

Neff, J. M. Fate and Effects of Water Based drilling Muds and Cuttings in Cold Water Environments // Report to Shell Exploration and Production Company. Houston, Texas, May 25. 2010. 287 p.

Brude O. W., Moe K. A., Bakken V., Hansson R., Larsen L. H., Løvås S. M., Thomassen J., Wiig ø. Northern Sea Route Dynamic Environmental Atlas / Editors: Brude O. et al. // INSROP working paper № 99. 1998. 58 p.

Benthic progress and bottom fauna // Results of the Third Joint US-USSR Bering and Chukchi Seas Expedition (BERPAC). Summer 1988. U. S. Fish and Wildlife Service. 1992. P. 241–251.

Schonberg S. V., Janet T. C., and Kenneth H. D. Distribution, abundance, biomass and diversity of benthic infauna in the Northeast Chukchi Sea, Alaska: Relation to environmental variables and marine mammals // *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in*

Oceanography. 2014. Vol. 102. P. 144–163.

Trefry J. H., Trocine R. P., Cooper L. W., Dunton, K. H. Trace metals and organic carbon in sediments of the northeastern Chukchi Sea // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Vol. 102. 2014. 18-31. DOI: [10.1016/j.dsr2.2013.07.018](https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.07.018)

民事再生で借金の返済 . URL: www.comidacab.org (дата обращения 15.12.2015).

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-00733 мол_а.

THE CHUKCHI SEA ZOOBENTHOS: CONTEMPORARY CONDITIONS AND TRENDS IN ANTHROPOGENIC INFLUENCE.

**KIRIEVSKAYA
Dubrava**

*Novgorod State University (41, Bolshaya St. Petersburgskaya
st., 173003 Veliky Novgorod, Russia),
dubrava.kirievskaya@gmail.com*

Keywords:
zoobenthos, the
Chukchi Sea,
biomass,
biodiversity,
pollutants

Received on:
12 August 2016
Published on:
04 July 2017

Summary: The Chukchi Sea is a key region where rapid changes of the Arctic environment have been observed recently. Benthos of the Chukchi Sea is a sensitive indicator of these changes. In addition, the benthos can be used as an indicator of the anthropogenic load on the marine environment. A lot of researches have been conducted in the different parts of the Chukchi Sea. In this paper we summarized all the data collected for the last 30 years to evaluate contemporary conditions of the Chukchi Sea benthos as well as to discuss a potential response of the benthic ecosystem to the anthropogenic load. The Chukchi Sea zoobenthos is characterized by relatively high biodiversity compared to the seas of the western Arctic Ocean. The spatial distribution of zoobenthos is non-uniform. It is caused by a lot of factors: depth, bottom and sediment temperature, geochemical structure of the sediments, hydrodynamics, etc. Present environmental conditions of the Chukchi Sea biota can be considered to be close to the average long-term norms. By the reason of climate change scientists started to observe northing displacement of subarctic and temperate species of the benthic ecosystem. The Chukchi Sea is still included into the area with low anthropogenic pressure. The main potential threat for the Chukchi sea benthos results from continued oil and gas exploration and sea transport. For example, benthos around oil-wells (the Burger and the Klondike) contains pollutants at a high concentration. The risk of rising anthropogenic load on the Chukchi Sea ecosystem poses the problem to additionally identify vulnerable areas of increased ecological significance for later receiving conservation status.



УДК 340.6:595.7

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА НЕКРОФИЛЬНЫХ ДВУКРЫЛЫХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

ЛАВРУКОВА
Ольга Сергеевна

канд. мед. наук, Петрозаводский государственный университет (пр. Ленина, 33), olgalavrukova@yandex.ru

ЛЯБЗИНА
Светлана
Николаевна

канд. биол. наук, Петрозаводский государственный университет (пр. Ленина, 33), slyabzina@petsru.ru

ГОРБАЧ
Вячеслав
Васильевич

доктор биол. наук, Петрозаводский государственный университет (пр. Ленина, 33), gorbach@psu.karelia.ru

ПРИХОДЬКО
Андрей
Николаевич

ГБУЗ Республики Карелия «Бюро судебно-медицинской экспертизы» (ул. Л. Толстого, 38), andrey_prihodko@list.ru

Ключевые слова: труп, некрофильные двукрылые, синантропная фауна, урбанизированные территории, судебная энтомология

Рецензент:
Ю. Н. Белова

Получена:
13 февраля 2017
года

Подписана к печати:
29 июня 2017 года

Аннотация. Изучен комплекс синантропных некрофильных двукрылых и воздействие урбанизации на их состав и структуру. На трупах людей найдено девять видов мух, относящихся к четырем семействам. Основу населения составляют красноголовая синяя падальница (*Calliphora vicina*), зеленая падальница (*Lucilia caesar*) и мясная муха новоземельская (*Protophormia terraenovae*). Ведущую роль в формировании комплекса некрофильных двукрылых играют сезонные аспекты изменения видового состава, условия нахождения трупа и его состояние. Наиболее успешными в размножении, развитии и колонизации трупа являются экологически пластичные виды с широким трофическим спектром.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Некрофильные двукрылые играют важнейшую роль в поддержании гомеостаза наземных экосистем. Утилизируя органические останки, они обеспечивают непрерывность процессов возобновления природных сообществ. Комплекс некрофильных двукрылых, формирующийся в условиях города, имеет свои ярко выраженные особенности. Это связано с тем, что мухи проявляют различную

способность к освоению урбанизированной среды. Среди них традиционно различают три группы: асинантропные – виды, избегающие соседства с человеком; эусинантропные – виды, достигающие наибольшей численности в поселениях, и гемисинантропные – промежуточные виды (Nuorteva, 1963; Артамонов, 2011). Соотношение этих форм и определяет специфику населения на различных по степени освоенности территориях.

Целью работы являлось изучение комплекса синантропных некрофильных двукрылых и воздействия условий урбанизации на их состав и структуру.

Важнейшим прикладным аспектом исследования является использование полученных результатов в судебно-медицинской экспертной практике. Несмотря на то, что преступления против жизни и здоровья человека совершаются, как правило, на урбанизированных территориях, вопрос использования сведений на основе исследований синантропной фауны для экспертной оценки сроков и места наступления смерти до сих пор остается слабо разработанным. В литературе приводится ряд случаев установления давности наступления смерти людей, найденных в городской черте, по видовому составу некрофильных двукрылых (Stærkeby, 2001; Matoba, Terazawa, 2008; Попов и др., 2016), а также обсуждаются результаты специально поставленных в условиях города экспериментов по изучению населения трупов крупных животных в помещении и на открытом воздухе (Anderson, 2011).

Материалы

Синантропный комплекс некрофильных двукрылых изучали в городских условиях – в г. Петрозаводске (61.0° с. ш. 34.0° в. д.) и в сельской местности – д. Коткозеро (Олонецкий район Республики Карелия, 61.0° с. ш. 33.0° в. д.) в 2014–2016 гг. Видовую принадлежность мух устанавливали по имаго, выведенным из яиц, личинок и пупариев, собранных с трупов людей в ходе осмотров мест происшествия.

Работы проводили в соответствии с международными этическими нормами, изложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Рекомендации для врачей по проведению биомедицинских исследований на людях», и других нормативных документах (заключение Комитета по медицинской этике при Министерстве здравоохранения и социального развития РК и Петрозаводском государственном университете № 35 от 6 ноября 2015 г.).

Некрофильный материал собран с 17 трупов, краткая характеристика мест их обнаружения и состояния дана в табл. 1. В каждом случае заполняли протокол забора энтомологического материала, в котором, помимо общих сведений, указывали места скопления двукрылых, наличие повреждений от их личинок, других животных и др.

Яйца, личинки и пупарии собирали с различных частей трупа и его ложа, где наблюдалось наибольшее их скопление, в среднем около 20 % от общего количества. В тех случаях, когда личинки двукрылых находились только на одной части тела (голова, туловище или конечности), их изымали максимально. Собранный материал помещали в специально подготовленные контейнеры с увлажненным лигнином на дне, после чего транспортировали в лабораторию. В лаборатории живой материал сразу же переносили в термостат с регулируемым освещением (12:12) и температурой (+20 °C) для выведения имаго. В результате было выведено 557 особей (табл. 2).

Таблица 1. Общая характеристика исследуемых объектов

N объекта	Дата сбора материала	Место обнаружения трупа	Состояние
1	16.05.2016	Территория гаражного кооператива	Визуально гнилостно не изменен, наличие повреждений с обильным кровотечением

2	26.05.2016	Квартира	Визуально гнилостно не изменен, наличие повреждений с обильным кровотечением
3	03.06.2016	Квартира	Гнилостно изменен: наличие выраженной гнилостной венозной сети, зеленоватое окрашивание кожных покровов, трупная эмфизема и наличие пузырей, заполненных гнилоственными газами
4	10.06.2016	Лесной массив города	Резко выраженные гнилостные изменения: грязно-зеленая окраска кожных покровов, их частичное размягчение и разрушение на отдельных участках тела, скелетирование костей головы
5	21.06.2016	Квартира	Начальные гнилостные изменения в виде гнилостной венозной сети на лице, передней поверхности груди и живота
6	08.07.2016	Квартира	Гнилостно изменен: зеленая окраска кожных покровов, трупная эмфизема, наличие пузырей, заполненных гнилоственными газами
7	25.07.2016	Лесной массив города	Визуально гнилостно не изменен
8	5.08.2016	Веранда частного дома	Гнилостно изменен: зеленая окраска кожных покровов, резко выраженная трупная эмфизема, наличие пузырей, заполненных гнилоственными газами
9	9.08.2016	Квартира	Начальные гнилостные изменения: наличие гнилостной венозной сети на лице и верхней части туловища, зеленоватое окрашивание кожи живота
10	14.06.2015	Квартира	Гнилостные изменения: наличие выраженной гнилостной венозной сети, зеленоватое окрашивание кожных покровов, трупная эмфизема и наличие пузырей, заполненных гнилоственными газами
11	05.07.2015	Квартира	Гнилостно изменен: наличие выраженной гнилостной венозной сети, зеленоватое окрашивание кожных покровов, трупная эмфизема и наличие пузырей, заполненных гнилоственными газами
12	15.07.2015	Квартира	Гнилостно изменен: наличие выраженной гнилостной венозной сети, зеленоватое окрашивание кожных покровов, трупная эмфизема и наличие пузырей, заполненных гнилоственными газами
13	30.09.2015	Квартира	Влажная мумификация
14	08.11.2014	Квартира	Скелетирование трупа, частичное сохранение мягких тканей

15	13.09.2015	Лестничная клетка	Визуально гнилостно не изменен, при внутреннем исследовании установлены начальные признаки процесса гниения (петли кишечника раздуты гнилостными газами, цвет их изменен до грязно-зеленого, ткань головного мозга на разрезах с зеленоватым прокрашиванием, расплывается)
16	25.06.2016	Парковая зона города	Гнилостно изменен: зеленая окраска кожных покровов, резко выраженная трупная эмфизема, наличие пузырей, заполненных гнилостными газами
17	4.10.2016	Парковая зона города	Резко выраженные гнилостные изменения, переходящие в скелетирование трупа

Таблица 2. Видовой и количественный состав некрофильных двукрылых, выведенных с трупов

Вид	Объект																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Всего
Сем. Calliphoridae - мясные мухи																		
<i>Calliphora vicina</i> R-D, 1830	4	9	9	11	-	-	5	-	-	9	13	30	83	-	-	-	2	175
<i>Calliphora vomitoria</i> L., 1758	-	-	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	9
<i>Lucilia caesar</i> L., 1758	-	-	-	56	10	-	26	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	118
<i>Lucilia illustris</i> Meig., 1826	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
<i>Lucilia silvarum</i> Meig., 1826	-	-	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65
<i>Protophormia terraenovae</i> R-D, 1830	-	-	31	-	-	20	10	-	-	-	-	-	-	-	17	20	-	98
Сем. Fanniidae																		
<i>Fannia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3
Сем. Phoridae - горбатки																		
<i>Megaselia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	-	-	-	70
Сем. Sarcophogidae - серые мясные мухи																		
<i>Sarcophaga argyrostoma</i> R-D, 1830	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	12	-	-	-	-	-	15
Всего	4	9	40	132	10	20	47	6	3	9	13	45	109	70	17	20	3	557

Методы

Изменчивость населения двукрылых изучали методом главных компонент (Коросов, Горбач, 2010). Задачи анализа – выявить структуру отношений многомерных данных, вычлняя группы (плеяды) зависимых признаков и группы (кластеры) сходных объектов, и обозначить общие причины, в силу которых признаки изменяются

согласованно, а объекты оказываются сходными. Исходные значения (см. табл. 2) нормировали, компоненты с дисперсией менее единицы относили к несущественным и не рассматривали. Факторные нагрузки представляли произведением собственных векторов и стандартных отклонений соответствующих главных компонент. Такой подход позволяет сравнивать коэффициенты одного признака в разных главных компонентах (Ивантер, Коросов, 2010). Признаки группировали в плеяды, исходя из наибольших величин их факторных нагрузок в рядах главных компонент.

Результаты

В результате проведенного исследования установлено, что на трупах людей в условиях Южной Карелии могут развиваться девять видов некрофильных двукрылых, относящихся к четырем семействам (см. табл. 2). Численность видов на трупах неодинакова – в большом количестве встречались типичный эусинантропный вид синяя падальница (*C. vicina*), а также гемисинантропные виды: зеленая падальница (*L. caesar*) и мясная муха новоземельская (*P. terraenovae*) (см. табл. 2). Другой вид, тоже связанный с жилищем человека – мясная муха живородящая (*Calliphora vomitoria*) – был представлен небольшим числом особей.

Личинки двукрылых являются одним из основных деструкторов тканей трупа. В массе их отмечали на тех объектах, которые находились в состоянии гнилостного изменения с зеленоватой окраской кожных покровов, резко выраженной трупной эмфиземой, наличием пузырей, заполненных гнилостными газами. На таких трупах доминировали *P. terraenovae*, *C. vicina*, *L. caesar*. По типу питания они относятся к некрофагам и утилизируют большую часть мягких тканей.

Компонентный анализ позволил выявить основные направления изменчивости комплекса некрофильных двукрылых при формировании населения трупов. Четыре значимые главные компоненты, отражающие все самые существенные отличия, учитывают 74 % общей дисперсии выборки (табл. 3).

Ведущую роль в формировании населения двукрылых играют условия нахождения трупа. Наибольшие значения факторных нагрузок по первой компоненте получили виды, выведенные только с тех трупов, которые находились в помещениях, – это *S. argyrostoma* и *Fannia* sp. Двукрылые, получившие отрицательные величины, более характерны для участков на открытом воздухе.

Во второй компоненте отражена общая структура доминирования – наиболее многочисленными видами в изученном комплексе двукрылых являются *L. caesar* и *L. silvarum*. Именно эти виды составляют основу населения трупов, найденных на улице. Другой вид – синяя падальница (*C. vicina*) – занимает промежуточное положение, одинаково активно заселяя трупы в городских условиях, как на открытом воздухе, так и в помещении.

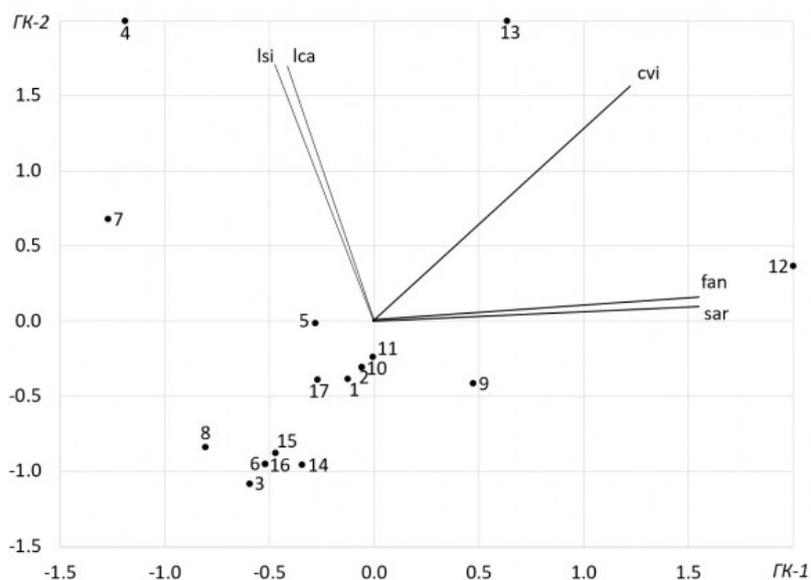
Третью компоненту следует обозначить как сезонные особенности населения. Здесь плеяду сформировали двукрылые, преобладающие во второй половине лета, – *L. illustris* и *C. vomitoria*.

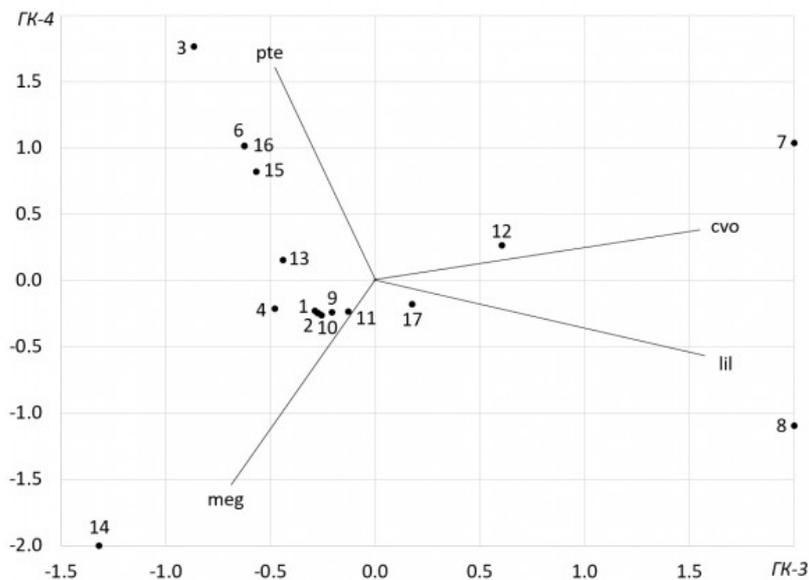
В четвертой главной компоненте выявилась асимметрия факторных нагрузок. Противопоставление *P. terraenovae* и *Megaselia* sp. наиболее ярко характеризует различные стадии разложения трупов. Первый вид встречался на трупах с начальными и резко выраженными признаками гниения. Численность их личинок была всегда значительной, однако личинки первой стадии преобладали на визуально гнилостно измененных трупах, а личинки старших возрастов – на гнилых. Личинки и пупарии *Megaselia* sp. почти исключительно встречались на скелетированных трупах с частично сохранными мягкими тканями. Дифференциация исследуемых объектов на диаграммах (рисунок) указывает на общие тенденции формирования населения двукрылых и ведущую роль вышеупомянутых видов в каждом конкретном случае.

Таблица 3. Дисперсия и факторные нагрузки главных компонент распределения некрофильных видов двукрылых по трупам

Факторные нагрузки	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4
<i>Calliphora vicina</i> (cvi)	0.392	0.464	-0.080	0.089
<i>Calliphora vomitoria</i> (cvo)	-0.266	0.059	0.730	0.148
<i>Fannia sp.</i> (fan)	0.943	0.067	0.137	0.063
<i>Lucilia caesar</i> (lca)	-0.236	0.945	0.060	0.064
<i>Lucilia illustris</i> (lil)	-0.140	-0.152	0.757	-0.262
<i>Lucilia silvarum</i> (lsi)	-0.207	0.840	-0.108	-0.050
<i>Megaselia sp.</i> (meg)	-0.060	-0.174	-0.298	-0.753
<i>Protophormia terraenovae</i> (pte)	-0.254	-0.353	-0.217	0.698
<i>Sarcophaga argyrostoma</i> (sar)	0.949	0.048	0.128	0.048
Дисперсия	2.20	2.00	1.30	1.17
Дисперсия, %	24.4	22.3	14.4	12.9

Примечание. Факторные нагрузки здесь представлены произведением собственных векторов и стандартных отклонений соответствующих главных компонент (ГК). Жирным шрифтом выделены плеяды признаков, определяющие направления изменчивости в распределении видов по трупам.





Ординация исследуемых объектов (трупов) в осях значимых главных компонент и участие двукрылых в формировании их населения (биplot). Обозначения видов двукрылых даны в табл. 3, линиями показаны собственные векторы ведущих факторных нагрузок (плеяд признаков), цифрами указаны N объектов, их характеристика приводится в табл. 1

Objects (carcasses) ordination in the graphic PCA and participation of diptera in the formation of their populations (biplot). Indications of species are given in Table. 3, the lines show significant vectors of factor loadings (Pleiades features), numbers indicate N objects, their characteristics are given in Table 1

Обсуждение

Рассмотренный состав и структура некрофильных двукрылых урбанизированных территорий Республики Карелия имеет общие черты с прилегающими регионами. Например, в Финляндии основу также составляют представители семейства Calliphoridae (Nuorteva, 1963). По своим эколого-биологическим особенностям большинство рассмотренных видов связаны как с естественными, так и урбанизированными местообитаниями. Многие виды каллифориды в природе находят дополнительную пищу на других эфемерных субстратах или цветках растений (Труфанова, Хицова, 2001). В наших исследованиях к синантропной фауне относится *S. vicina*. В Европе, на севере (Ленинградская область) и юге (Испания), этот вид хорошо адаптирован к условиям помещения, проводит полный жизненный цикл в антропогенных ценозах и является доминирующим (Виноградова, 1991; Baz et al., 2015). Среди других видов в квартиры способны проникать и заселять мертвые ткани также *L. caesar* и *L. illustris*. Эти виды обладают высокими возможностями адаптации к условиям населенных пунктов (Артамонов, 2003).

Антропогенное воздействие оказывает влияние на структуру сообщества некрофильных двукрылых. Например, в Финляндии в естественной среде на приманках говяжьей печени отмечено больше представителей р. *Sarcophaga*, а в количественном преобладали особи р. *Lucilia* (Hanski, 1987).

Среди всех выявленных некрофильных двукрылых доминировали *S. vicina*, *L. caesar* и *P. terraenovae*, что объясняется их экологической пластичностью и способностью развиваться, кроме трупов, в различных гниющих субстратах. Это позволяет им легко адаптироваться и заселять все стадии обитания урбанизированной территории. Наоборот, в естественной среде, в экспериментах, проведенных на трупах свиней, расположенных на значительном удалении от городской черты, установлено, что во всех случаях доминировала только *P. terraenovae* (Приходько и др., 2016). В весенний период высокая численность *P. terraenovae* связана с особенностью ее жизненного цикла переносить зимний период на стадии имаго. У этого вида имеется

хорошо выраженная диапауза в репродуктивном состоянии (Виноградова, 1988, 1991).

Общая невысокая численность других видов, например *L. illustris* и *C. vomitoria*, вероятно, зависит от температурного преферендума их индивидуального развития. Для нормального процесса им необходимо большее количество тепловой энергии, которую в наших климатических условиях они смогут получить преимущественно во второй половине лета. Так, температурные параметры у этих видов мух имеют более высокие значения нижнего порога развития и тепловой постоянной вида, чем, например, у *C. vicina* (Виноградова, Марченко, 1984).

Низкая численность на трупах личинок *Fannia sp.* и *S. argyrostoma* связана с тем, что они являются хищниками (консументами второго порядка) и могут нападать на особей как своего, так и других видов. Как регуляторы численности других видов эта группа всегда будет в меньшем количестве (Одум, 1986). Необходимо отметить также, что *S. argyrostoma* во всех случаях отмечена на трупах, которые находились только в помещениях. Однако в литературе имеются сведения, что вид обитает исключительно в естественной среде и обладает экзофилией, т. е. даже при очень мощной запаховой стимуляции мухи опасаются залетать в замкнутые пространства (Артамонов, 1994). На основе этих особенностей в криминалистике описан случай установления факта перемещения трупа с улицы в помещение (Benecke, 1998).

Среди выявленных некрофильных двукрылых четко прослеживается зависимость видового состава от состояния трупных тканей. Присутствие личинок мясной мухи новоземельской на свежем и гнилостно измененном трупе связано с тем, что они одни из первых находят и сразу колонизируют такие объекты. По этим качествам этот вид относят к важным в судебно-медицинском отношении.

Обнаружение *Megaselia sp.* на стадии скелетирования трупа объясняется тем, что ее личинкам достаточно для питания и развития незначительных по объему обезвоженных остатков мягких тканей. Например, D. B. Riversa с соавт. (2013) приводит данные о том, что некрофильный вид *Megaselia scalaris* (Loew, 1866) отличается максимальной устойчивостью к дегидратации заселяемых ею тканей. Это соответствует способности имаго колонизировать на поздних стадиях распада трупных тканей, а их личинок развиваться в этот период. Обильная же концентрация личинок и пупарий на волосистой части головы позволяет сделать предположение и о том, что они являются кератофагами и питаются дериватами кожи.

Заключение

Неоднородность городской территории и постоянно меняющиеся условия приводят к тому, что более успешными в размножении, развитии и колонизации трупов являются экологически пластичные виды с широким спектром питания. Вероятно, этим объясняется преобладание в этой среде некрофильных двукрылых, которые по трофике личиночной стадии являются факультативными некрофагами и связаны в своем развитии с различными гниющими органическими веществами.

Полученные сведения имеют важное судебно-медицинское значение и могут быть использованы в условиях подзоны средней тайги Европейской части России при расследовании случаев насильственной смерти для прогнозирования времени нахождения и сезона попадания трупа на место его обнаружения, а также факта его перемещения.

Библиография

Артамонов С. Д. Особенности экологии каллифорид (Diptera: Calliphoridae) Дальнего Востока России // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2011. Вып. 22. С. 159–166.

Артамонов С. Д. Поведенческий комплекс двукрылых насекомых семейства Sarcophagidae // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 1994. Вып. 4. С. 3–7.

Артамонов С. Д. Формирование адаптаций к синантропизму на примере двукрылых семейств Sarcophagidae и Calliphoridae (Insecta, Diptera) // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2003. С. 14–20.

- Виноградова Е. Б. Диапауза мух и ее регуляция // Труды Зоологического института РАН. Т. 214. Л.: Наука, 1991. 253 с.
- Виноградова Е. Б. Зимние адаптации мясных мух *Protophormia terraenovae* и *Calliphora vicina* (Diptera, Calliphoridae) из северной Европы и Сибири: сравнительный экспериментальный анализ // Связи энтомофаун северной Европы и Сибири. Л., 1988. С. 31–36.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 104 с.
- Коросов А. В., Горбач В. В. Компьютерная обработка биологических данных. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 84 с.
- Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.; Т. 2. 376 с.
- Попов В. Л., Лаврукова О. С., Приходько А. Н., Лябзина С. Н. Установление времени заселения трупа некрофильной мухой *Protophormia terraenovae* (Diptera, Calliphoridae) для определения продолжительности постмортального интервала // Вестник судебной медицины. 2016. № 3. С. 4–8.
- Приходько А. Н., Лаврукова О. С., Лябзина С. Н., Горбач В. В. Судебно-медицинское значение определения видового состава некрофильных двукрылых // Судебно-медицинская экспертиза. 2016. № 59 (5). С. 53–55.
- Труфанова Е. И., Хицова Л. Н. Биоэкология каллифорид Среднего Подонья. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. 171 с.
- Anderson R. Comparison of Decomposition Rates and Faunal Colonization of Carrion in Indoor and Outdoor Environments // Forensic science. 2011. Vol. 56. Issue 1. P. 136–142.
- Baz A., Botias C., Martin-Vega D., Cifrian B., Diaz-Aranda L. Preliminary data on carrion insects in urban (indoor and outdoor) and periurban environments in central Spain // Forensic Science International. 2015. Vol. 248. P. 41–47.
- Benecke M. Six forensic entomology cases: description and commentary // Journal Forensic Science. 1998. Vol. 43. № 4. P. 797–805.
- Hanski I. Carrion fly community dynamics: patchiness, seasonality and coexistence // Ecological Entomology. 1987. Vol. 12 (3). P. 257–266.
- Matoba K., Terazawa K. Estimation of the time of death of decomposed or skeletonized bodies found outdoors in cold season in Sapporo city, located in the northern district of Japan // Legal Medicine. 2008. Vol. 10. P. 78–82.
- Nuorteva P. Synanthropy of blowflies (Dipt., Calliphoridae) in Finland // Annales Entomologici Fennici. 1963. Vol. 29. № 1. P. 1–49.
- Riversa D. B., Yoderb J. A., Jajackb A. J., Rosselotb A. E. Water balance characteristics of pupae developing in different size maggot masses from six species of forensically important flies // Journal of Insect Physiology. 2013. Vol. 59. P. 552–559.
- Stærkeby M. Dead larvae of *Cynomya mortuorum* (L.) (Diptera, Calliphoridae) as indicators of the post-mortem interval – a case history from Norway // Forensic Science International. 2001. Vol. 129. P. 77–78.

Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках госзадания № 656-17.

COMPOSITION FEATURES OF SARCOPHAGUS DIPTERA IN URBANIZED AREAS OF SOUTH KARELIA

**LAVRUKOVA
Olga Sergeevna**

*Ph.D., Petrozavodsk State University (Lenina st.,33),
olgalavrukova@yandex.ru*

**LYABZINA
Svetlana**

*Ph.D., Petrozavodsk State University (Lenina st.,33),
slyabzina@petsu.ru*

**GORBACH
Vyacheslav**

*D.Sc., Petrozavodsk State University (Lenina st.,33),
gorbach@psu.karelia.ru*

**PRICHODKO
Andrey**

*Forensic Medical Expertise Bureau of the Republic of Karelia
(L.Tolstoy st.,38), andrey_prihodko@list.ru*

Keywords:
corpse,
sarcophagus
diptera, urbanized
areas,
synanthropic
fauna, forensic
entomology

Reviewer:
Y. Belova

Received on:
13 February 2017

Published on:
29 June 2017

Summary: The article deals with the study of the complex of synanthropic sarcophagus Diptera and the influence of urbanization on its composition and structure. On human corpses nine species belonging to four families were found. They developed in different parts of the corpses. Calculations were produced using PCA. The basis of the population of Diptera consists of three species - *Calliphora vicina*, *Lucilia caesar* and *Protophormia terraenovae*. Significant seasonal aspects resulting in changes in species composition, circumstances of finding a corpse and its condition play the main role in the formation of the complex of sarcophagus Diptera. The most successful in reproduction, development and occupation of ecological niches are those species that can be easily adapted to changing circumstances with a wide range of food.



УДК 631.95; 579.66

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ ПРИ СБРАЖИВАНИИ ГИДРОЛИЗАТОВ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ В БИОБУТАНОЛ

МОРОЗОВА
Татьяна Сергеевна

Национальный исследовательский Томский
государственный университет (634050, Томск, пр. Ленина,
36, стр. 13), Tsmorozova1991@gmail.com

СЕМЁНОВ
Сергей Юрьевич

кандидат биологических наук, Национальный
исследовательский Томский государственный
университет (634050, Томск, пр. Ленина, 36, стр. 13),
p9138009960@gmail.com

Ключевые слова:

Пивная дробина,
биобутанол,
гидролизат
лигноцеллюлозного
сырья, *Clostridium*
acetobutylicum
ATCC 824, ростовые
вещества, глюкоза,
аминокислоты,
ингибирование

Аннотация. Предложено использование пивной дробины в качестве источника ростовых веществ для ацетонобутилового сбраживания гидролизатов лигноцеллюлозного сырья с целью снижения себестоимости производства биобутанола и возможной утилизации отхода пивоварения. В серии опытов по оценке влияния пивной дробины на сбраживаемость углеводов штаммом бактерий *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824 определены лимитирующая и ингибирующая концентрации пивной дробины в среде, которые составляют 2 и 20 об. % соответственно. Выявлена оптимальная доза пивной дробины, составившая 6 об. %. Установлено, что в ацетонобутиловом брожении может быть использована как свежая, так и закисшая пивная дробина.

Получена:

23 декабря 2016
года

Подписана к печати:

04 июля 2017 года

© Петрозаводский государственный университет

Введение

В соответствии с Экологической доктриной Российской Федерации (2002 г.) увеличение доли возобновляемых ресурсов в получении моторных топлив является актуальной задачей современности. Перспективным вариантом считается производство моторных топлив из растительного сырья путем ферментации. Особыми потребительскими преимуществами в качестве добавки в традиционные топлива обладает биобутанол, получаемый путем сбраживания углеводсодержащих сред бактериями рода *Clostridium* (Qureshi, Ezeji, 2008).

При этом все более актуальным становится получение биобутанола не из пищевого сырья, а из недорогого легкодоступного растительного сырья, в качестве

которого могут быть использованы предварительно гидролизованные отходы АПК и лесного хозяйства (Procentese et al., 2016). Использование в качестве сырья 100 % лигноцеллюлозного гидролизата может значительно снизить себестоимость растворителей в сравнении с использованием в качестве субстрата пищевого сырья (Morone, Pandey, 2014).

Перед сбраживанием гидролизаты лигноцеллюлозного сырья очищают от ингибиторов, образующихся в процессе гидролиза за счет деградации лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы, и затем обогащают ростовыми веществами, необходимыми для ацетонабутиловых бактерий (Roth, Tippkötter, 2016; Nanda et al., 2014). Применяемые на сегодняшний день ростовые компоненты, такие как ПАБК, тиамин, биотин и др., в большинстве своем имеют высокую стоимость, поэтому поиск недорогих источников ростовых веществ является одним из наиболее значимых факторов в снижении себестоимости производства биобутанола.

В 60-х годах прошлого века в качестве недорогих источников необходимых белковых компонентов и витаминных комплексов предлагалось использование кукурузного глютена или жмыха подсолнечника (Яровенко, 1963), которые по ряду свойств являются ценной кормовой добавкой для сельскохозяйственных животных и имеют долгий срок хранения из-за невысокой влажности. Поэтому их использование в ацетонабутиловом производстве (АБЭ-процесс) нерационально, т. к. после процесса они насыщаются влагой и срок их хранения резко снижается.

Более экономичным считается использование таких отходов, которые имеют определенные ограничения на использование в качестве корма для сельскохозяйственных животных. Например, пивная дробина, массовый отход пивоваренного производства, являясь прекрасным кормом, обладающим комплексом питательных, минеральных и биологически активных веществ, в то же время из-за высокой влажности (75–85 %) имеет крайне короткий срок хранения. Уже на вторые сутки происходит ее закисание и поражение патогенными для сельскохозяйственных животных грибами. В настоящее время основная масса прокисшей пивной дробины складывается на полигонах твердых бытовых отходов или на несанкционированных свалках. Ее сброс в окружающую среду приводит к загниванию, сопровождающемуся выделением токсичных продуктов распада (аммиак, скатол, индол, микотоксины и др.), что вызывает увеличение экологической нагрузки на окружающую среду. При этом степень экологической опасности дробины в течение месяца возрастает с V класса до IV (Руденко, 2007).

Пивная дробина образуется в технологиях пивоваренного производства после фильтрования затора и промывания солодовой дробины горячей водой и представляет собой остаток дробленых зерновых продуктов (Тихомиров, 1998). Содержание гемицеллюлозы и целлюлозы в сухом веществе пивной дробины составляет 52 %. Для нее характерно высокое содержание пентоз. После кислотного гидролиза содержание пентоз в гидролизате пивной дробины составляет 7 об. %. А соотношение таких углеводов, как глюкоза/ксилоза/арабиноза, составляет приблизительно 1:2:1 (Xiros, Christakopoulos, 2009). Пивная дробина богата протеинами (до 24 % к абсолютно сухому веществу), клетчаткой, жирами и витаминными комплексами (Петров и др., 2014).

Лигноцеллюлозную часть пивной дробины ранее уже предлагали использовать в качестве источника редуцирующих веществ при производстве спиртов (Xiros, Christakopoulos, 2009). Белково-витаминный комплекс, остающийся после осуществления гидролиза пивной дробины, так же было бы рациональным использовать в технологиях получения биотоплива как возможный источник ростовых веществ.

Таким образом, пивная дробина содержит в себе все необходимые ростовые вещества, необходимые для биоагентов ацетонабутилового брожения. Возможность ее использования в технологиях ацетонабутилового производства позволила бы снизить себестоимость производства биобутанола, а также решить вопрос эффективной утилизации массового отхода пивоварения.

Целью работы является изучение возможности использования пивной дробины в качестве источника ростовых веществ в ацетонобутиловом производстве при сбраживании гидролизатов лигноцеллюлозного сырья.

Материалы

Для проведения исследований нами была получена пивная дробина с ОАО «Томское пиво» влажностью 82–86 %. Процесс брожения осуществлялся штаммом бактерий *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824, полученным из ВКПМ. Данный штамм характеризуется способностью сбраживать как пентозы, так и гексозы (Ounine et al., 1983), а также обладает ярко выраженной амилолитической (Croux et al., 1992) и протеолитической способностью (Annous, Blaschek, 1990).

Поскольку свежая пивная дробина может являться ценной кормовой добавкой, а после ее хранения более суток в ней образуются микотоксины, в результате чего ее использование в кормопроизводстве становится невозможным, для осуществления экспериментов нами была использована четырехдневная пивная дробина. Использование прокисшей пивной дробины в ацетонобутиловом производстве не только позволит осуществить эффективную утилизацию некондиционной пивной дробины, но и провести ее дезинфекцию и детоксикацию, в результате чего отработанная в ацетонобутиловом процессе пивная дробина может быть в дальнейшем использована в качестве кормовой добавки.

В опытах по оценке влияния пивной дробины на сбраживаемость углеводов штаммом бактерий *C. acetobutylicum* ATCC 824 использовались среды, включающие в себя 45 г/л глюкозы и пивную дробину в различных концентрациях. В качестве контроля осуществлялось сбраживание полусинтетической среды, указанной в паспорте культуры *C. acetobutylicum* ATCC 824, включающей в себя следующие компоненты (г/л): глюкоза – 20, аммония ацетат – 3, дрожжевой экстракт – 1, пептон – 1, крахмал – 1, KH_2PO_4 – 0.7, K_2HPO_4 – 0.7, цистеин – 0.5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0.02, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.015, NaCl – 0.01, ПАБК – 0.001.

В экспериментах по сбраживанию гидролизатов лигноцеллюлозного сырья совместно с пивной дробинкой в качестве источников редуцирующих веществ применялся ферментативный гидролизат целлюлозы мискантуса, содержащий 34.8 г/л глюкозы и 15.6 г/л ксилозы. В контрольном варианте в качестве ростовых веществ использовались следующие компоненты полусинтетической среды: ПАБК – 0.001, тиамин – 0.001, биотин – 0.001, цистеин – 0.5, дрожжевой экстракт – 1.

Методы

Стерилизация сред осуществлялась при 0.15 МПа при температуре 111 ± 2 °С в течение 20 минут. Проводилась раздельная стерилизация источников ростовых и редуцирующих веществ с целью предотвращения образования продуктов карамелизации и меланоидинов. В соответствии с методикой (Логоткин, 1958) в свежеприготовленную стерильную среду, охлажденную до 60 °С, вносился инокулят в количестве 3 об. %. Для создания анаэробных условий объем сосудов заполнялся на 85 %. Сосуды закрывались ватно-марлевыми пробками, использование пеногасителя не требовалось. Культивирование проводили в термостате при 37 °С.

Процесс брожения оценивался по макропараметрам: образование разрыва, подъема, осадка и по интенсивности газовой выделенности и пенообразования, а также микроскопированием. Концентрации бутанола, ацетона и этанола измерялись газовым хроматографом Хроматэк кристалл. 5000.2.

Данные, полученные в ходе экспериментов, обрабатывались с помощью пакета STATISTICA, версия 6.0. Обработка результатов сбраживания сред была выполнена с использованием методов параметрической статистики с вычислением средних значений и стандартного отклонения.

Результаты

На первом этапе работ по оценке влияния пивной дробины на сбраживаемость углеводов штаммом бактерий *C. acetobutylicum* ATCC 824 проводилось сбраживание среды, состав которой включал в себя 20 об. % четырехдневной пивной дробины влажностью 86 % и 40 г/л глюкозы. Опыт состоял из 8 повторностей. После внесения в среду инокулята в половине повторностей брожение наступило со значительным опозданием (через 56 часа) и остановилось на первой стадии образования кислот. В процессе брожения были зафиксированы разрыв, подъем, образование осадка, но газовыделение в течение всей ферментации было крайне слабым. При этом в половине повторностей брожение не наступило.

В результате серии последовательных брожений, в которых состав среды оставался прежним, а микроорганизмы каждого эксперимента использовались как инокулят для следующего эксперимента, процесс сбраживания углеводов не был значительно улучшен.

Для достижения нормального процесса брожения, характеризующегося интенсивным газовыделением и пенообразованием, а также последовательным образованием разрыва, подъема и осадка, был проведен ряд экспериментов на обнаружение отсутствующего в пивной дробине какого-либо компонента, являющегося лимитирующим фактором процесса жизнедеятельности ацетобутиловых бактерий.

Для определения недостающего компонента были приготовлены стандартные среды с пивной дробинкой (20 об. % пивной дробины и 45 г/л глюкозы), включавшие те или иные соединения, которые определялись в соответствии с составом полусинтетической среды, прописанной в паспорте для штамма бактерий *C. acetobutylicum* ATCC 824 (табл. 1). В качестве контроля выступал опыт по сбраживанию полусинтетической среды с добавлением 20 об. % пивной дробины.

Таблица 1. Предполагаемые отсутствующие компоненты в составе среды с пивной дробинкой, необходимые для штамма бактерий *C. acetobutylicum* ATCC 824

№ опыта	Предполагаемые недостающие компоненты
1	дрожжи, KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaCl
2	ПАБК, тиамин, биотин
3	ПАБК, биотин
4	ПАБК, тиамин
5	аммоний ацетат

Во всех вариантах брожение отсутствовало, вследствие чего был сделан вывод о наличии веществ в пивной дробине, ингибирующих ацетобутиловое брожение.

С целью удаления ингибиторов были проверены два способа очистки пивной дробины: высушивание и промывка водой. Часть пивной дробины тщательно промывалась водопроводной водой, а другая часть высушивалась при температуре 110 °С до влажности 0 %. Состав среды изменен не был.

Во всех повторностях с промытой пивной дробинкой брожение наступило на 36-м часу, а в повторностях с высушенной дробинкой – на 44-м часу. Так как ферментация наблюдалась во всех случаях, было сделано предположение, что данные ингибиторы являются летучими веществами. Кроме того, данное предположение подтверждалось тем, что четырехдневная пивная дробина перед промывкой или выпариванием имела кисловато-сладкий запах, который возникает при закисании пивной дробины, из-за чего в ней образуются летучие соединения. К предполагаемым ингибиторам относятся фурфурол, муравьиная кислота, ацетаты и др., которые удаляются из среды промывкой или выпариванием. Но при обоих методах удаления ингибиторов брожение, начавшись нормально, внезапно остановилось, и к концу процесса значение pH составило 4.5–4.7, что свидетельствовало о прокисании среды и остановке брожения

на стадии образования кислот.

Анализируя литературные данные, учитывая при этом высокое содержание протеинов в пивной дробине (до 24 % к абсолютно сухому веществу), был сделан вывод об ингибировании аминокислотами второй стадии брожения - стадии образования растворителей. Считается, что избыток легко усвояемых протеолизатов способствует хорошему росту культуры ацетонобутиловых бактерий, но мешает наступлению второй фазы брожения (Логоткин, 1958). Сольвентогенная стадия брожения может осуществляться только в том случае, если бактерии в период быстрого размножения питаются высокомолекулярными фракциями. При развитии бактерий за счет продуктов расщепления белков способность культуры к осуществлению второй фазы нарушается. Так как для пивной дробины характерно высокое содержание аминокислот, вероятно, что при такой используемой ее концентрации в среде содержалось избыточное количество легкоусвояемых азотистых веществ, что привело к ингибированию второй фазы брожения.

Таким образом, следующий опыт заключался в поиске оптимальной концентрации пивной дробины, при которой не происходит ингибирования аминокислотами, но при этом ее достаточно для обеспечения ацетонобутиловых бактерий необходимыми ростовыми веществами. Проводилась оценка сбраживаемости глюкозы при различных концентрациях пивной дробины. Брожение во всех случаях начиналось через 22–24 часа после внесения в среду инокулята. По окончании процесса был проведен хроматографический анализ на выход целевых продуктов (рис. 1).

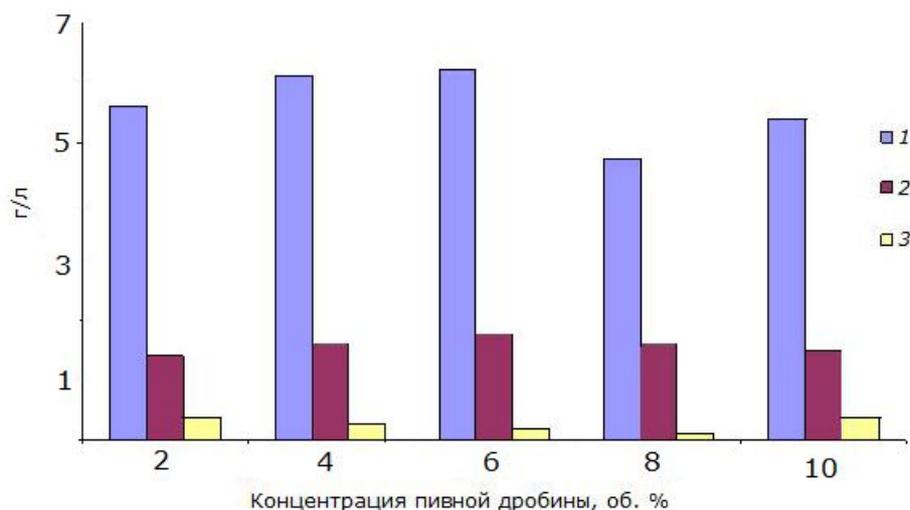


Рис. 1. Выход целевых продуктов в зависимости от концентрации пивной дробины влажностью 82–86 % в сбраживаемой среде: 1 – бутанол, 2 – ацетон, 3 – этанол

Fig.1. Yield of target products depending on the concentration of the spent grain (moisture 82–86 %) in the fermentation medium: 1 – butanol, 2 – acetone, 3 – ethanol

На основании хроматографического анализа была определена оптимальная концентрация пивной дробины, которая составила 5–6 % от объема среды. При таком количестве пивной дробины в сбраживаемой среде наблюдался наибольший выход целевых продуктов по окончании брожения.

Для того чтобы сократить время начала брожения от момента заражения среды с 22–24 до 8–10 часов, осуществлялась серия последовательных сбраживаний сред, содержащих 45 г/л глюкозы и 6 об. % пивной дробины, для заражения которых использовался инокулят из отбродивших сред аналогичного состава. В результате 4–5 последовательных генераций время начала брожения уменьшилось до 8 часов, а выход целевых продуктов повысился в 1.5–2 раза.

В опытах по сбраживанию ферментативного гидролизата целлюлозы мискантуса,

очищенного при помощи специально адаптированного активного ила (Morozova, Semenov, 2016), из 16 повторностей брожение наступило во всех случаях и характеризовалось интенсивными процессами газовой выделения и пенообразования. Брожение наступило через 8–9 часов и закончилось через 79–88 часов. Контроль также имел все признаки интенсивного брожения. Средние результаты сбраживания представлены в табл. 2.

Таблица 2. Выход бутанола, ацетона и этанола с различных сред на основе ферментативного гидролизата целлюлозы мискантуса

Состав среды	Средний выход целевых продуктов, г/л		
	бутанол	ацетон	этанол
Гидролизат + компоненты полусинтетической среды (г/л): ПАБК – 0.001, тиамин – 0.001, биотин – 0.001, цистеин – 0.5, дрожжевой экстракт – 1.	10.21 ± 0.74	02.97 ± 0.43	0.97 ± 0.4
Гидролизат + пивная дробина (6 об. %)	10.14 ± 0.87	02.48 ± 0.53	01.02 ± 0.42

Обсуждение

Полученные результаты по сбраживанию гидролизатов лигноцеллюлозного сырья соответствуют литературным данным (Логоткин, 1958; Яровенко, 1963). При использовании пивной дробины в концентрации 5–6 об. % брожение протекает нормально, характеризуется интенсивными процессами газовой выделения и пенообразования. При использовании оптимальной концентрации пивной дробины установлено, что при таком варианте не происходит ингибирования жизнедеятельности бактерий веществами, образующимися при закисании дробины (фурфурол, муравьиная кислота, ацетаты и др.), поэтому необходимость в ее промывании или высушивании отсутствует. Тем не менее срок хранения дробины не должен превышать 30 суток, в этом случае для осуществления процесса брожения требуется промывание прокисшей пивной дробины, что, однако, может повысить себестоимость целевых продуктов. Поэтому для наиболее эффективного применения пивной дробины в ацетонобутиловом производстве в качестве источника ростовых веществ рекомендуется использовать пивную дробину, которая хранилась от 2 до 30 суток.

Интересным представляется вариант, при котором смыв с пивной дробины (отжим) будет применяться в качестве источника ростовых веществ, а сухой остаток (жом) – как сырье для получения гидролизатов с целью их дальнейшего сбраживания в спирты. В этом случае возможна полная утилизация отхода пивоваренного производства.

При использовании пивной дробины в ацетонобутиловом производстве (АБЭ-процесс) только в качестве источника ростовых веществ отработанная в ацетонобутиловом брожении дробина может быть в дальнейшем применена в качестве корма для сельскохозяйственных животных. При этом выдержка прокисшей пивной дробины в анаэробных условиях, промывка ее большим количеством воды и воздействие на нее бутанола и ацетона снижают токсичность ее как корма, поэтому прокисшую дробину, переработанную в АБЭ-процессе, также можно будет скармливать сельскохозяйственным животным или сырой, или после предварительного силосования.

Заключение

Полученные в ходе исследования результаты указывают на возможность использования пивной дробины в качестве источника ростовых веществ для ацетонобутилового сбраживания гидролизатов лигноцеллюлозного сырья. В серии опытов по оценке влияния пивной дробины на сбраживаемость углеводов штаммом бактерий *C. acetobutylicum* ATCC 824 определены лимитирующая и ингибирующая концентрации дробины в среде, которые составили 2 и 20 об. % соответственно. Выявлена оптимальная доза дробины, составившая 6 об. %. Для ацетонобутилового брожения допускается применение как свежей, так и закисшей пивной дробины. Использование прокисшей пивной дробины в АБЭ-процессе позволяет осуществить ее дезинфекцию, а также не снижает ее в количественном соотношении, т. е. не происходит безвозвратной утилизации ценного потенциального пищевого ресурса, как, например, в процессах сжигания или захоронения пивной дробины. Предложенный способ утилизации пивной дробины, основанный на ее использовании в АБЭ-процессе, позволит снизить себестоимость производства биобутанола и решить экологическую проблему утилизации отхода пивоваренного производства.

Библиография

- Логоткин И. С. Технологии ацетон-бутилового производства . М.: Пищепромиздат, 1958. 254 с.
- Об Экологической доктрине Российской Федерации: Распоряжение Правительства РФ от 31 авг. 2002 г. № 1225-р // СПС КонсультантПлюс.
- Петров С. М., Филатов С. Л., Пивнова Е. П., Шибанов В. М. К вопросу о способах утилизации пивной дробины // Пиво и Напитки. 2014. № 6. С. 32–37.
- Руденко Е. Ю. Современные тенденции переработки основных побочных продуктов пивоварения // Пиво и Напитки. 2007. № 2. С. 66–68.
- Яровенко В. Л., Нахманович Б. М., Щелбыкин Н. П., Сенкевич В. В. Непрерывное брожение в ацетонобутиловом производстве . Нальчик: Кабардино-балкарское книжное издательство, 1963. 327 с.
- Annous B. A., Blaschek H. P. Regulation and Localization of amylolytic enzymes in *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824 // Applied and environmental microbiology. 1990. Vol. 56 (8). P. 2559–2561.
- Croux Ch., Canard B., Goma G. Autolysis of *Clostridium acetobutylicum* ATCC // Journal of General Microbiology. 1992. Vol. 138. P. 861–869.
- Morone A., Pandey R. A. Lignocellulosic biobutanol production: Gridlocks and potential remedies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 37. P. 21–35.
- Morozova T. S., Semyonov, S. Y. Biological detoxification of lignocellulosic hydrolysates for improved biobutanol production // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 683. P. 525–530.
- Nanda S., Dalai A. K., Kozinski J. A. Butanol and ethanol production from lignocellulosic feedstock: biomass pretreatment and bioconversion // Energy Science & Engineering. 2014. Vol. 2 (3). P. 138–148.
- Ounine K., Petitdemange H., Raval G., Gay R. Acetone-butanol production from pentoses by *Clostridium acetobutylicum* // Biotechnology Letters. 1983. Vol. 5 (9). P. 605–610.
- Procentese A., Raganatia F., Olivieria G., Russo M. E., Feld M., Marzocchella A. Renewable feedstocks for biobutanol production by fermentation // New Biotechnology. 2016. 29 October. P 1–6.
- Qureshi N., Ezeji T. C. Isolation Butanol, «a superior biofuel» production from agricultural residues (renewable biomass): recent progress in technology // Biofuels. Bioprod. Bioref. 2008. Vol. 2. P. 319–330.
- Roth J., Tippkötter N. Evaluation of lignocellulosic material for butanol production using enzymatic hydrolysate medium // Cellulose Chem. and Technol. 2016. Vol. 50 (3–4). P. 405–410.
- Xiros Ch., Christakopoulos P. Enhanced ethanol production from brewer's spent grain by a *Fusarium oxysporum* consolidated system // Biotechnology for Biofuels. 2009. Vol. 2. P. 4–10.

Благодарности

Работа была выполнена в рамках выполнения госзаказа Минобрнауки России (проект № 6.7525.2017/8.9) и частично поддержана программой «Научный фонд Д. И. Менделеева Томского государственного университета» (проект № 8.1.17.2017/8.9).

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING BREWER'S SPENT GRAIN FOR THE FERMENTATION OF LIGNOCELLULOSIC HYDROLYSATES TO BIOBUTANOL

MOROZOVA
Tatyana Sergeevna

*National Research Tomsk State University (36/13 Lenin Avenue., Tomsk, Russia, 634050),
Tsmorozova1991@gmail.com*

SEMYONOV
Sergey Yuryevich

Ph.D., National Research Tomsk State University (36/13 Lenin Avenue., Tomsk, Russia, 634050), p9138009960@gmail.com

Keywords:

Brewer's grain, biobutanol, lignocellulosic hydrolysate, Clostridium acetobutylicum ATCC 824, growth substances, glucose, amino acids, inhibition

Summary:

The paper deals with the investigation of the possible using of brewer's grain as a source of growth substances in acetone-butanol fermentation of lignocellulosic hydrolysates in order to reduce the cost of biobutanol production and to utilize the brewery waste. The fermentation of glucose was carried out at different concentrations of the brewer's grain by Clostridium acetobutylicum ATCC 824. In the experiments on fermentation of the lignocellulosic hydrolysates an enzymatic hydrolysate of miscanthus cellulose containing 34.8 g/l glucose and 15.6 g/l xylose was used as a source of reducing substances. The sterilization of the medium was carried out at 0.5 KPa for 20 minutes. The sterilization of the growth and reducing substances sources was conducted separately to prevent caramelization of products and melanoidins. For inoculation the spores of 3% (vol/vol) C. acetobutylicum ATCC 824 were transferred to a fresh medium. The strain was grown at 37 °C under anaerobic conditions. In a series of experiments on the evaluation of the influence of the brewer's grain on the fermentability of carbohydrates by the strain of C. acetobutylicum ATCC 824, limiting and inhibitive concentrations of brewer's grain were determined in the medium, which were 2 and 20 % vol., respectively. The optimal amount of the brewer's grain was about 6 % vol. At the optimal concentration of the brewer's grain the fermentation of lignocellulosic hydrolysates occurred in all replicates. It was characterized by intensive gas and foam formation that corresponds to the data in literature. After 79-88 h of fermentation of miscanthus cellulose hydrolysate the product yield amounted 10.14±0.87 g/L butanol, 0.48±0.53 acetone, 0.02±0.42 g/L ethanol. It was found that at an optimum concentration both the fresh and sour brewer's grain can be used in the fermentation. After the acetone-butanol fermentation the brewer's grain can be used as a food for farm animals. The obtained results indicate the possibility of using the brewer's grain as a source of growth substances for the fermentation of lignocellulosic hydrolysates. The proposed method of using the brewer's grains in acetone-butanol fermentation may reduce the cost of biobutanol and also solve the problem of disposing some waste from the brewing industry.

Received on:

23 December
2016

Published on:

04 July 2017



УДК 550.47+57.044: 57.014 (470.22)

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕРОЙ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ *PINUS SYLVESTRIS* L. В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ

РЫБАКОВ
Дмитрий Сергеевич

к. г.-м. н., Институт геологии Карельского научного центра РАН (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), rybakovd@krc.karelia.ru

Ключевые слова: сера, тяжелые металлы, химическое загрязнение, годовые кольца, *Pinus sylvestris* L.

Аннотация. Изучено влияние серы, являющейся исторически важным поллютантом в регионе Карелия, на радиальный прирост (ширину годовых колец) деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Тесные отрицательные корреляционные связи между S и усредненными по пятилетиям значениями ширины годовых колец характерны для периода 1977–2001 гг. (в отличие от 1952–1976 гг.). Некоторые индивидуальные образцы из северных местообитаний имеют отклонения от этой тенденции, в том числе связанные, по всей видимости, со сравнительно большим влиянием на рост растений тяжелых металлов. Это касается и таких сильных ингибиторов, как Ni и Cu. Самые большие изменения прироста растений, очевидно обусловленные совместным влиянием S и F при повышенном содержании тяжелых металлов, зафиксированы в зоне воздействия выбросов Надвоицкого алюминиевого завода.

Получена:
09 декабря 2016
года

Подписана к печати:
29 июня 2017
года

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Сера относится к группе элементов, для которых свойственна газообразная форма не только в земных глубинах, но и в биосфере. Водная миграция для нее также характерна (Перельман, 1989). В области охраны окружающей среды соединения серы являются важнейшими загрязнителями. При этом диоксид серы (SO_2) очень часто контролируется как ведущий по массе компонент в составе выбрасываемых стационарными источниками загрязняющих веществ, сведения о которых собираются и обнародуются федеральными и территориальными органами государственной статистики.

Основной источник поступления в окружающую среду сернистых соединений – сжигание всех видов топлива (главным образом угля и нефтепродуктов). Другие источники – выплавка цветных металлов (Cu, Zn, Pb, Ni) и чугуна, производство бумаги, производство цемента (Вредные..., 1989). В Республике Карелия основной вклад в эмиссию SO_2 вносит промышленность, что, казалось бы, резко отличает регион от глобального и общеевропейского распределения (табл. 1). Однако в Республике Карелия крупнейшие предприятия имели или имеют на балансе собственные энергетические мощности. Кроме того, некоторые небольшие энергетические объекты, позднее поставленные на государственный учет как объекты электроэнергетики (например: Государственный доклад..., 2002), первоначально могли относиться к жилищно-коммунальному сектору.

Таблица 1. Антропогенные выбросы диоксида серы и их секторальное распределение в 2000 г.

Table 1. Anthropogenic emissions of sulphur dioxide and their sector distributions in the year 2000

Сектор экономики	Всего в мире 1)		В Европе 1)		В Республике Карелия 2)	
	млн т SO ₂	%	млн т SO ₂	%	тыс. т SO ₂	%
Электростанции	50	53	12	64	0.636	0.79
Промышленность	32	33	4	22	67.838	83.9
Жилой	7	8	2	9	7.994	9.88
Автотранспорт	2	2	0.5	2	0.735	0.91
Внедорожный транспорт	2	2	0.4	2	-	-
Другие	2	2	0.2	1	3.698	4.57
Всего	96	100	18	100	80.901	100.0

Примечание. 1) Vestreng, 2008. 2) Государственный доклад..., 2001, 2002.

Note. 1) Vestreng, 2008. 2) State Report..., 2001, 2002.

Республика Карелия подвергалась значительному воздействию осадений серы из трансграничных атмосферных потоков со стороны 20 европейских регионов, а также со стороны регионов Российской Федерации (Государственный доклад..., 1998). В последние годы вредное влияние европейских государств, в том числе соседней Финляндии, снижалось в результате значительного сокращения выбросов (рис. 1, 2). Также снижались выбросы основных загрязнителей в Мурманской области – медно-никелевых комбинатов «Североникель» (работает с 1935 г.) и «Печенганикель» (работает с 1940 г.). Например, выбросы комбината «Североникель», ближайшего к северной территориальной границе Республики Карелия, снижены с 280 тыс. т SO₂ в 70–80-е гг. прошлого века до 45 тыс. т в 2000 г. и 31.3 тыс. т в 2011 г. (Kashulina et al., 2014; Оценка доклада..., 2013). Metallургический комбинат «Печенганикель» ответственен за выбросы 257.5 тыс. т SO₂ в 1990 г., 150.0 тыс. т в 2000 г. и 100.7 тыс. т в 2011 г. (Оценка доклада..., 2013; Червякова, 2014).

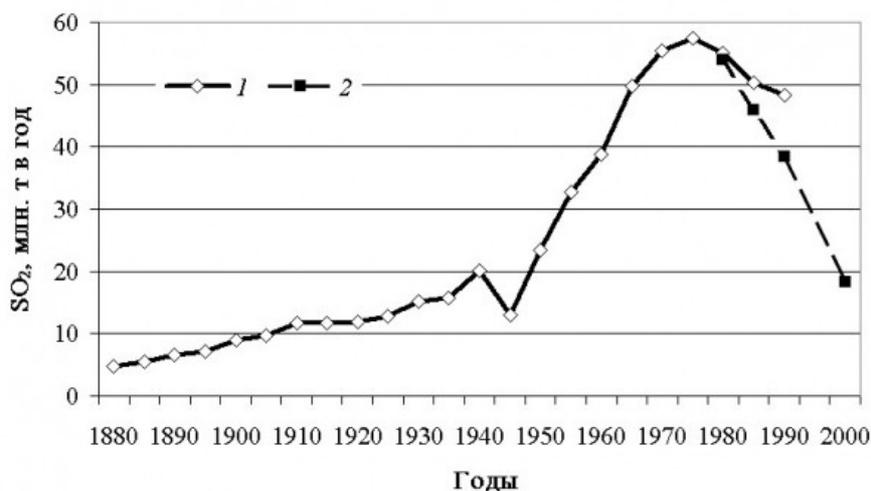


Рис. 1. Оценка исторических выбросов диоксида серы в Европе: 1 – по: Mylona, 1996 (исключены данные по СССР / России и Османской империи / Турции), 2 – по: Vestreng et al., 2007

Fig. 1. Estimated historical anthropogenic emissions of sulphur dioxide in Europe: by

Mylona, 1996 (emissions from USSR/Russia and Ottoman Empery / Turkey are excluded), 2 – by Vestreng et al., 2007

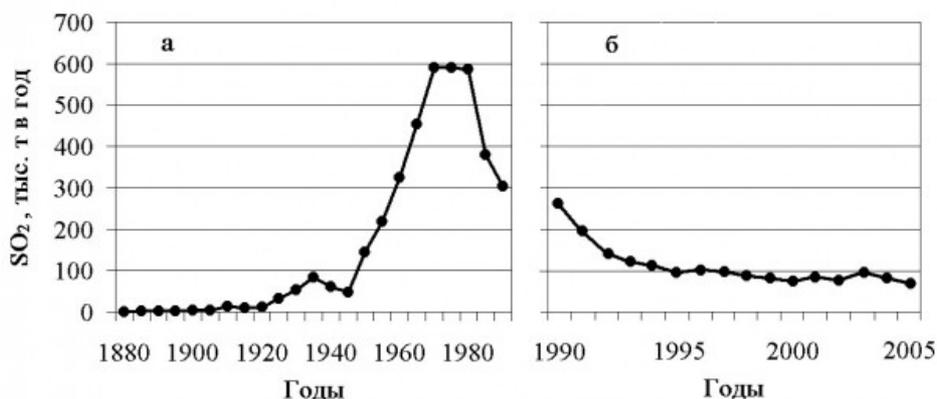


Рис. 2. Эмиссия диоксида серы в Финляндии за периоды: а – 1880–1990 гг. (по: Mylona, 1996), б – 1990–2005 гг. (по: Lyytimäki, 2014, Институт окружающей среды Финляндии)

Fig. 2. Emissions of sulphur dioxide in Finland for periods: а – 1880–1990 (by Mylona, 1996), б – 1990–2005 (by Lyytimäki, 2014, Finnish Environmental Institute)

Наиболее мощным источником выбросов сернистых соединений на территории Республики Карелия является Костомукшский ГОК ОАО «Карельский окатыш». В 2000 г. он выбросил в атмосферу 30.258 тыс. т, или 37.4 % от общего количества выбросов SO₂ в регионе. По другим промышленным центрам количество выбросов распределилось следующим образом (тыс. т SO₂ в 2000 г.): г. Кондопога – 19.277, г. Сегежа – 8.444, г. Петрозаводск – 5.775, г. Питкяранта – 2.520, пгт Надвоицы – 1.444.

Таким образом, изучаемый регион подвержен загрязнению как от собственных источников выбросов, так и осадений из трансграничных переносов. В результате региональный фон S, оцененный по заимствованному (Федорец и др., 2008) медианному содержанию в почвенной фракции менее 2.0 мм лесных почв Республики Карелия, составил 560 мг/кг, еще большее количество S содержат лесные подстилки (медиана 2345 мг/кг). Наиболее высокая концентрация в лесных подстилках приурочена к населенным пунктам (Федорец и др., 2008). Содержание S в поверхностном слое почв г. Петрозаводска колеблется в широких пределах (41.1–5059.3 мг/кг). Медианное содержание (637.1 мг/кг) немного превышает региональный фон (в 1.1 раза). Нижний квартиль составил 492.9 мг/кг, верхний – 928.0 мг/кг (Новиков, 2014). Согласно существующему нормативу (Предельно допустимые..., 2006), предельно допустимое количество S в почве с учетом фона/кларка равно 160 мг/кг.

Значительное снижение эмиссии SO₂ в Европе и на Кольском полуострове с учетом преобладания юго-западного и западного, а на северо-западе Ладожского озера – северо-западного и южного направлений ветра (Медико-географический справочник..., 1990) позволяет лучше оценить масштаб и динамику техногенного загрязнения от промышленных объектов, расположенных в самом регионе. Для этого в качестве исследуемых фиксаторов загрязняющих химических элементов рекомендуется использовать годовые кольца *Pinus sylvestris* L., что было сделано ранее на примере тяжелых металлов (Рыбаков, 2016 и др.).

Эта статья также является подходом к решению важных задач, объединенных целью выявления основных последствий выпадений серы (ее соединений) и других поллютантов на живое вещество. К не рассматриваемым в регионе другими авторами задачам относится, в частности, оценка влияния серы на состояние и динамику параметров сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – ширины годовых колец, ее взаимодействия с другими элементами в годовых кольцах деревьев.

Материалы

В качестве материала для исследования использовались образцы кернов *Pinus*

sylvestris L., отобранные в разных районах Республики Карелия (табл. 2). Образцы отбирались с помощью бурава Пресслера на высоте 30 см от корневой шейки деревьев.

Таблица 2. Места и даты отбора образцов древесных кернов *Pinus sylvestris* L.
Table 2. Locations and dates of the selection of *Pinus sylvestris* L. tree core samples

№ образцов	Место и дата отбора кернов	Возраст деревьев, лет	Период определения S, гг.	Количество проб (по пятилетиям)
303-01	3 км к юго-западу от г. Кондопоги, гряда вдоль берега Кондопожской губы Онежского озера, 12.09.2001	50	1972-1996	5
305-01	15 км к северу от г. Медвежьегорска, 50 м от дороги федерального значения М-18, 12.09.2001	50	1962-2001	8
306-01	г. Сегежа, участок сосновых насаждений вблизи Сегежской ЦРБ, 13.09.2001	55	1952-2001	10
308-01	Лесной участок, пораженный выбросами Надвоицкого алюминиевого завода, 13.09.2001	50	1952-2001	10
311-01	40 км к юго-востоку от г. Костомукши и Костомукшского ГОКа, 65-75 м от авто- и железной дорог Ледозеро - Костомукша, 13.09.2001	150	1977-2001	5
312-01	2.5 км к северо-востоку от ЦФО Костомукшского ГОКа, между отстойником и отвалами горнорудного производства, 14.09.2001	100	1952-2001	10
315-01	71 км к востоку-северо-востоку от Костомукшского ГОКа, 10 м от грунтовой дороги, 14.09.2001	80	1952-2001	10

317-01	1.4 км к северу-северо-востоку от д. Софпорог, 50 м от дороги Пяозерский – Софпорог – Лоухи, 14.09.2001	100	1952–2001	10
328-01	1.8 км к северу от границы г. Питкяранты, 50 м от края недействующего карьера (гранито-гнейсы), 5.10.2001	120	1952–2001	10
330-01	2 км к северу от д. Карку, 5.10.2001	60	1952–2001	10

Методы

Дендрогеохимический метод позволяет в короткий срок зафиксировать историю загрязнения изучаемой территории за длительный период времени.

Влияние сернистых осадений оценивалось путем установления статистической связи между содержанием S в объединенных по пятилетним сегментам годичных кольцах *Pinus sylvestris* L. и радиальным приростом деревьев. Это содержание определено спектрофотометрическим методом, а содержание сопутствующих тяжелых металлов (Cu, Ni, Pb, Cd, Fe, Mn) – методом атомной абсорбции в аналитической лаборатории Института леса Карельского научного центра РАН (<http://forestry.krc.karelia.ru/structure.php?id=P45&plang=r>). Все данные приводятся на воздушно-сухую навеску. В качестве индикаторного параметра выбраны усредненные по тем же пятилетиям значения ширины годичных колец (D_5). Возраст деревьев устанавливался приближенно в полевых условиях подсчетом годичных колец в керне, начиная от последнего кольца и до сердцевины. Вместе с тем содержание S и параметры древесины определялись только в периоды, ограниченные последними 50 годами жизни деревьев (см. табл. 2). Основному же исследованию подвергались части кернов, соответствующие 1977–2001 гг., то есть последним пяти пятилетиям жизни деревьев. Это максимально позволило избежать проблемы возможного влияния перераспределения химических элементов на границе ядровой и заболонной древесины (Хантемиров, 1996). Кроме того, при анализе образцов, отобранных в северной части Республики Карелия, в районе воздействия Костомукшского ГОКа, учитывался срок введения комбината в эксплуатацию (1982 г.).

В годичных кольцах деревьев S, наряду с As, K, Na, Mg, P, N, Cl и B, проявляет высокую мобильность в ксилеме (Cutter, Guyette, 1993). Тем не менее сделана попытка использования S, вслед за элементами, относимыми данными авторами к слабо и умеренно мобильным (Рыбаков, 2016), в исследовании загрязнения по годичным кольцам *Pinus sylvestris* L. Объединение по пятилетиям позволяет сгладить эффект перераспределения элементов между активными годичными кольцами, связанного с подвижностью в ксилеме поступающих загрязнителей (Хантемиров, 1996).

Для расчетов статистических параметров и графических построений применялся пакет «Анализ данных» программы Microsoft Excel. При этом с помощью коэффициентов асимметрии и эксцесса осуществлялась проверка гипотез о нормальном распределении содержания химических элементов и усредненных значений ширины годичных колец. Между получаемыми значениями рассчитывались парные коэффициенты корреляции, статистическая значимость которых устанавливалась на уровне надежности (P) 95 % при соответствующем числе степеней свободы (df).

Результаты

Медианное содержание S в годичных кольцах *Pinus sylvestris* L. на территории Республики Карелия для выборки, объединяющей данные по всем образцам из табл. 2 (n

= 88), составило 532 мг/кг, примерно половина значений лежит в диапазоне 386–741 мг/кг (межквартильный размах 355 мг/кг). Данные заметно смещены в сторону больших значений. Среднее геометрическое значение составило 504 мг/кг.

Для периода 1952–1976 гг. ($n = 39$) медианное содержание S составило 507 мг/кг, около половины значений лежит в диапазоне 409–562 мг/кг (межквартильный размах 353 мг/кг). Данные сильно смещены в сторону больших значений. Среднее геометрическое – 536 мг/кг. В свою очередь, для периода 1977–2001 гг. ($n = 49$) медианное содержание близко – 547 мг/кг, около половины значений лежит в диапазоне 347–755 мг/кг (межквартильный размах 408 мг/кг). Данные очень слабо смещены в сторону больших значений. Среднее геометрическое – 481 мг/кг. Сравнение по F-критерию выборочных дисперсий прологарифмированных значений содержания S для этих двух периодов показало отсутствие значимых различий на уровне $p > 0.1$. Также по t-критерию значимо не отличаются средние значения логарифмов содержания ($p > 0.1$).

На рис. 3 представлены статистические модели для периодов 1952–1976 и 1977–2001 гг., различающиеся по степени адекватности, описывающие связь между содержанием S в годовых кольцах и радиальным приростом изученных деревьев *Pinus sylvestris* L. Из двух моделей близкой к удовлетворительной можно признать ($R^2 = 0.74$) только логарифмическую модель для периода 1977–2001 гг. (см. рис. 3б). При этом в соответствии со шкалой Чеддока имеем высокую степень тесноты связи, определяемую линейной корреляцией между распределенным логнормально содержанием S и значением D_5 ($r = -0.86$). Данное обстоятельство означает, что большая концентрация S в древесине деревьев так или иначе связана с их более узкими годовыми кольцами.

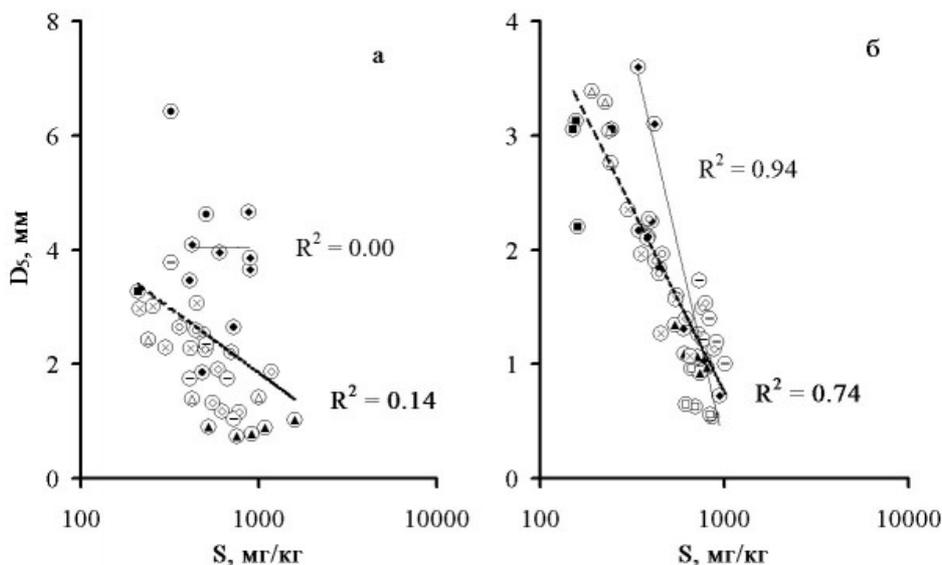


Рис. 3. Содержание S и усредненные по пятилетиям значения ширины годовых колец: а – 1952–1976 гг., б – 1977–2001 гг. Мелкими маркерами (внутри больших) показаны данные по индивидуальным образцам; пунктирные линии – логарифмические модели для всех анализов по соответствующим периодам (см. табл. 2); тонкие сплошные линии – логарифмические модели для обр. 308–01 (вблизи Надвоицкого алюминиевого завода)

Fig. 3. Content of S and the width of annual rings averaged over five-year periods : а – 1952–1976, б – 1977–2001. The small markers (inside large ones) show the data on individual core samples; dashed lines – logarithmic models for all analysis on the respective periods (see Table 2); thin solid lines – logarithmic models for the sample 308–01 (near Nadvoitsky aluminum plant)

На локальном участке леса, пораженного выбросами алюминиевого производства, эта связь выражена наиболее остро (обр. 308–01). Вместе с тем анализ данного образца показывает наибольшее накопление тяжелых металлов в годовых кольцах в более поздний период работы алюминиевого завода (введен в эксплуатацию в 1954 г.) (среднее

содержание 1952–1976/1977–2001 гг., мг/кг): Pb (0.13/1.33), Cu (3.28/10.2), Cr (0.41/1.18), Fe (11.2/27.0), Ni (1.66/3.18), Cd (0.62/1.12), Zn (7.38/11.7). При меньших концентрациях повышение содержания тяжелых металлов сопутствует радиальному приросту дерева, при более высоких (загрязняющих) количествах имеется значимая обратная корреляционная связь (табл. 3). В последнем случае такие важные ингибиторы роста, как Ni и Cu, положительно коррелируют с S, хотя при этом S лучше взаимодействует с Cr и Fe. Следует также учесть, что алюминиевое производство – крупнейший поставщик в окружающую среду F в районе пгт Надвоицы (Рыбаков, 2008), а совместное действие F и S приводит к существенным повреждениям растений (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Таблица 3. Парные коэффициенты корреляции между содержанием химических элементов и усредненными значениями ширины годичных колец сосны из района воздействия выбросов Надвоицкого алюминиевого завода (обр. 308-01)

Table 3. Pair coefficients of correlation between the contents of chemical elements and the width of annual rings of the pine from the area exposed to the emissions from Nadvoitsky aluminum plant averaged over five-year periods (sample 308-01)

	S	Mn	Cr	Pb	Cd	Ni	Fe	Cu	Zn	D ₅
Период 1952–1976 гг. (n = 5)										
S	1	-0.75	0.13	0.60	-0.52	-0.25	-0.57	-0.34	-0.91	-0.01
D ₅	-0.01	0.51	0.99	0.06	0.77	0.94	0.81	0.86	0.38	1
Период 1977–2001 гг. (n = 5)										
S	1	-0.56	0.93	0.61	0.44	0.88	0.92	0.75	-0.35	-0.94
D ₅	-0.94	0.78	-0.75	-0.65	-0.70	-0.93	-0.80	-0.91	0.25	1

Примечание. Полужирным выделены статистически значимые коэффициенты корреляции. Критическое значение при $P = 95\%$ и $df = 3$: $r_{\text{крит.}} = 0.878$.

Note. Statistically significant correlation coefficients are marked in bold. Critical value $r_{\text{crit.}} = 0.878$ with $P = 95\%$ and $df = 3$.

Наибольшие концентрации S установлены в 100-летней сосне в непосредственной близости (2.5 км к северо-востоку) от Центральной фабрики окомкования (ЦФО) Костомукшского ГОКа: максимальное содержание – 1593 мг/кг, медианное значение (для периода 1952–2001 гг.) – 748 мг/кг, среднее геометрическое – 784 мг/кг ($n = 10$). Максимальное содержание зафиксировано в самом первом пятилетии (1952–1956 гг.) (рис. 4а), что может свидетельствовать о загрязнении данного участка задолго до строительства г. Костомукши и Костомукшского ГОКа. Дальнейшее снижение концентрации, как видно из сопоставления рис. 4а с рис. 1 и 2, не соответствует динамике эмиссии SO₂ в Европе в целом и Финляндии в частности в период 1952–1975 (1980) гг.

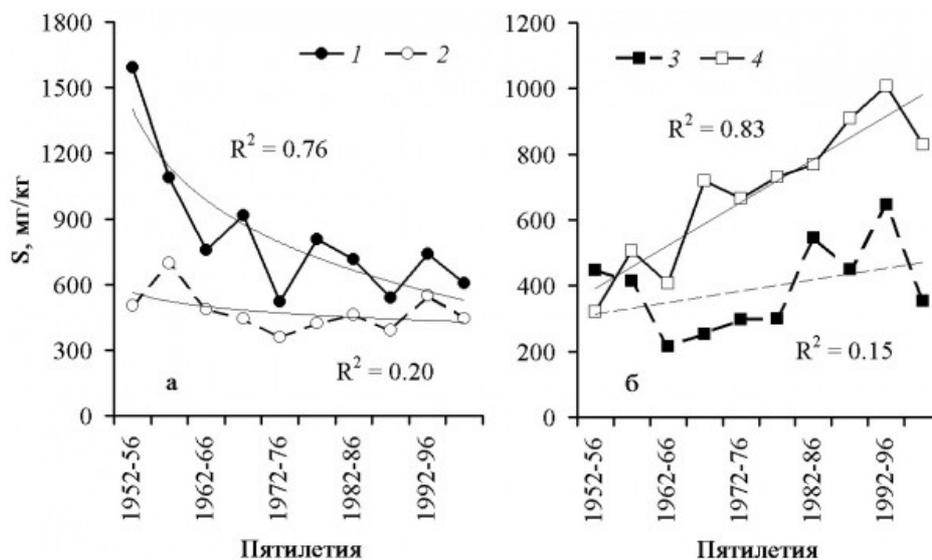


Рис. 4. Распределение S по пятилетним сегментам годовых колец *Pinus sylvestris* L.: а – северные местообитания (обр.: 1 – 312-01, 2 – 315-01, см. табл. 2), б – южные местообитания (обр.: 3 – 328-01, 4 – 330-01)

Fig. 4. Distribution of S over five-year annual rings segments of *Pinus sylvestris* L.: а – northern habitats (samples: 1 – 312-01, 2 – 315-01, see Table 2), б – southern habitats (samples: 3 – 328-01, 4 – 330-01)

В обр. 315-01 из 80-летней сосны, отобранном на 71 км дальше от государственной границы с Финляндией, чем обр. 312-01 из 100-летнего дерева, содержание S ниже, однако динамика изменений близка (для периода 1957–2001 гг. $r = 0.792$ при $r_{\text{крит.}} = 0.666$, $P = 95\%$, $df = 7$).

Сравнение двух разновозрастных деревьев из южных местообитаний (см. рис. 4б) показывает, что, в отличие от предыдущей пары образцов, больше S накапливалось в молодом дереве (обр. 328-01, 60 лет), чем в старом (обр. 330-01, 120 лет). При этом за исследованный период содержание S в годовых кольцах молодого дерева отчетливо росло с некоторыми периодическими снижениями, особенно в последнем пятилетии. Вместе с тем также, как и в первом случае (см. рис. 4а), отмечена корреляция между этими образцами для периода 1957–2001 гг. ($r = 0.673$ при $r_{\text{крит.}} = 0.666$, $P = 95\%$, $df = 7$).

Динамика изменения содержания S в годовых кольцах сосен из южных местообитаний больше соответствует динамике эмиссии SO_2 в странах Западной и Центральной Европы (см. рис. 1 и 2). Однако отчетливое снижение проявилось только в последнем пятилетии (см. рис. 4б).

Высокое медианное содержание S (742 мг/кг) зафиксировано в 100-летней сосне и у пос. Софпорог (между оз. Пяозеро и Топозеро, 131 км к северу-северо-востоку от Костомукшского ГОКа и около 240 км к югу-юго-западу от комбината «Североникель»). Среднее геометрическое несколько ниже, чем в обр. 312-01, – 731 мг/кг. Согласно исследованиям Федорец и др. (2008), в этой же зоне обнаружено пятно загрязнения S, а также Pb и Cu лесных подстилок.

На рис. 5 для образцов из северных и южных местообитаний, в том числе подвергавшихся наибольшему загрязнению сернистыми соединениями, показаны изменения содержания S и значений биометрического показателя D_5 за последний 25-летний период жизни деревьев. Из рисунка видно, что эти изменения в целом противоположно направлены друг другу не только в связи с видимыми возрастными и географическими причинами (северные образцы), но и в отдельных образцах, вне зависимости от возраста деревьев. Наиболее отчетливо это проявляется для обр. 312-01, 315-01, 330-01, заметно – для обр. 311-01, 328-01 и последних двух пятилетий в обр. 317-01.

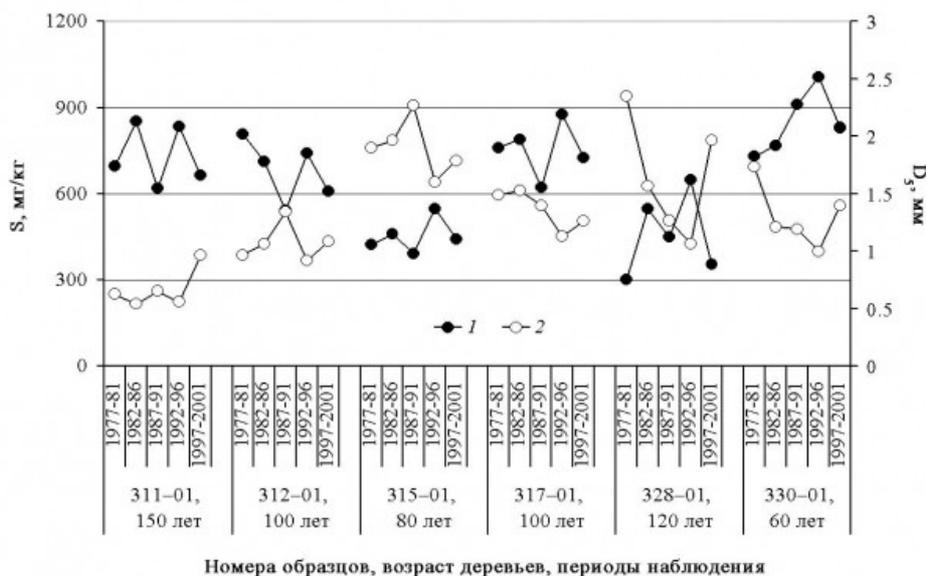


Рис. 5. Изменение содержания S в пятилетних сегментах годовичных колец и радиального прироста деревьев *Pinus sylvestris* L. из северных (обр. 311-01, 312-01, 315-01, 317-01) и южных (обр. 328-01, 330-01) местообитаний за период 1977–2001 гг.: 1 – содержание S, 2 – усредненные значения ширины годовичных колец (D_5)

Fig. 5. Change in S concentration in the five-year segments of annual rings and radial growth of *Pinus sylvestris* L. trees from northern (samples 311-01, 312-01, 315-01, 317-01) and southern (samples 328-01, 330-01) habitats for the period 1977–2001: 1 – S contents, 2 – average values of the width of annual rings (D_5)

Для образцов из северных местообитаний (см. рис. 5) получены следующие общие оценки содержания химических элементов для периодов с 1977–1981 по 1996–2001 гг. (медиана/среднее геометрическое, мг/кг; $n = 20$): S (679/638), Cd (1.35/1.41), Ni (3.25/3.40), Cu (2.95/4.40), Pb (2.36/2.42), Mn (31.9/35.2), Fe (36.2/39.6), Cr (2.65/2.52). Средние по пятилетиям значения ширины годовичных колец колеблются в пределах 0.54–2.27 мм. То же самое для образцов из южных местообитаний ($n = 10$): S (689/611), Cd (1.20/1.12), Ni (3.65/3.87), Cu (2.25/2.15), Pb (1.53/2.92), Mn (32.4/34.1), Fe (25.8/25.2), Cr (1.86/1.97). Средние по пятилетиям значения ширины годовичных колец колеблются в пределах 1.00–2.35 мм. Влияние S и тяжелых металлов на радиальный прирост сосен в эти периоды может характеризоваться приведенными в табл. 4 корреляционными взаимоотношениями.

Таблица 4. Парные коэффициенты корреляции между содержанием химических элементов (нормально распределенные значения или логарифмы) и значениями $\lg D_5$ в годовичных кольцах *Pinus sylvestris* L. из северных и южных местообитаний за период 1977–2001 гг. (для всех $n = 5$)

Table 4. Pair coefficients of correlation between the contents of chemical elements (normally distributed values or logarithms) and values $\lg D_5$ in the annual rings of *Pinus sylvestris* L. from northern and southern habitats for the period 1977–2001 (for all $n = 5$)

	Обр. 311-01 (Север)								Обр. 312-01 (Север)							
	Cd	Ni	Cu	$\lg Pb$	Mn	$\lg Fe$	Cr	$\lg D_5$	Cd	$\lg Ni$	Cu	$\lg Pb$	Mn	Fe	Cr	$\lg D_5$
$\lg S$	0.86	0.51	–	0.35	–	0.24	0.56	–	–	0.80	–0.02	–	0.67	–	0.75	-0.90
			0.01		0.41			0.65	0.73			0.54		0.05		
$\lg D_5$	–	–	–	–	0.81	–	–	1	0.55	–0.63	–0.35	0.43	–	0.09	–	1
	0.57	0.15	0.06	0.21		0.18	0.60						0.30	0.61		
	Обр. 315-01 (Север)								Обр. 317-01 (Север)							
	Cd	Ni	Cu	$\lg Pb$	Mn	$\lg Fe$	Cr	$\lg D_5$	Cd	Ni	Cu	$\lg Pb$	Mn	$\lg Fe$	Cr	$\lg D_5$

IgS	0.21	0.75	0.64	0.92	-	0.01	-	-	-	0.18	0.12	0.35	0.06	-	-	-0.38
				0.39		0.12	0.89	0.03						0.18	0.47	
IgD ₅	-	-	-	-	0.48	-	-	1	-	-0.95	-0.84	-	0.81	-	-	1
	0.55	0.36	0.82	0.85		0.26	0.20		0.85			0.86		0.50	0.43	
	Обр. 328-01 (Юг)								Обр. 330-01 (Юг)							
	Cd	Ni	Cu	IgPb	Mn	Fe	Cr	IgD ₅	Cd	Ni	Cu	IgPb	Mn	Fe	Cr	IgD ₅
IgS	0.32	0.83	0.55	-	-	-	0.69	-	0.26	0.78	0.79	-	-	0.89	-	-0.84
				0.11	0.26	0.42		0.90				0.11	0.47		0.31	
IgD ₅	-	-	-	0.16	0.47	0.25	-	1	-	-0.66	-0.91	0.14	0.48	-	0.00	1
	0.54	0.86	0.82				0.81		0.41					0.72		

Примечание. Полу жирным выделены статистически значимые коэффициенты корреляции. Критическое значение при P = 95 %: $r_{\text{крит.}} = 0.878$ (df = 3).

Note. Statistically significant correlation coefficients are marked in bold. Critical value $r_{\text{crit.}} = 0.878$ with P = 95% (f = 3).

Как видно из табл. 4, значимая корреляционная связь между прологарифмированными значениями содержания S и содержанием тяжелых металлов (Cd, Ni, Cu, Cr) во всех малых индивидуальных выборках отсутствует. Больше всего Cd и Cu расходятся с S на участке вблизи Костомукшского ГОКа (обр. 312-01), Ni – на участке «Софпорог» (обр. 317-01). В основном S не имеет значимых корреляционных связей с Pb, Fe, Mn и Cr. Только в одной выборке (обр. 315-01) имеется значимая статистическая связь с Pb, которая объясняется случайным влиянием его единичного аномального содержания (23.4 мг/кг Pb) в пятилетнем сегменте древесного ядра, концентрирующем наибольшее в анализируемом периоде для данного образца количество S (550 мг/кг). Можно отметить также прямую корреляционную связь S и Fe в обр. 330-01.

В табл. 4 для одних образцов (312-01, 315-01) существует обратная статистическая связь между содержанием S и радиальным приростом, для других (311-01, 317-01) эта связь прослеживается плохо или практически не наблюдается. Для обр. 317-01 коэффициент корреляции между содержанием S и значением D₅ резко снижен. При этом для него же отмечается наилучшая обратная корреляция между значением D₅ и содержанием тяжелых металлов. Так, содержание Ni в этом образце из всех отобранных в северных местообитаниях изменялось в наиболее широких пределах – от 1.6–2.1 мг/кг (1952–1986 гг.) до 5.6 мг/кг (1992–1996 гг.) и в последнем пятилетии (1997–2001 гг.) составило 5.0 мг/кг.

Обсуждение

Техногенное загрязнение сернистыми соединениями в Республике Карелия в рассматриваемый временной период обусловлено не только местными источниками (металлургическими и целлюлозно-бумажными предприятиями, связанными и не связанными с ними энергетическими объектами), но и осадками из трансграничных переносов, прежде всего из Центральной и Западной Европы. Последнее обстоятельство предопределено в основном северо-западным ветром, чаще других оказывающим влияние на регион. В Западном Приладожье из-за ветра южного направления должно ощущаться влияние переносов из Ленинградской области и Санкт-Петербурга. На севере республики за счет не столь частых (Медико-географический справочник..., 1990) ветров северо-северо-западного направления можно ожидать определенного влияния металлургических предприятий Кольского полуострова.

Сложная пространственно-временная схема загрязнения территорий S и другими химическими элементами, зависящая не только от количества выбросов разными источниками, но и от метеорологических (прежде всего, ветровых) условий, должна учитываться при выборе биоиндикаторов и способов их изучения. В этом отношении необходимо использовать преимущества дендрогеохимического метода, позволяющего получать ценную информацию о динамике химического загрязнения по годичным

кольцам деревьев сразу за длительный период времени.

Следует иметь в виду, что на распределение S по годичным кольцам могут оказать влияние особенности поведения этого элемента в ксилеме, возможно, проявляющиеся, как это установлено для ряда других элементов (актуальная ссылка приведена выше), на границе ядровой и заболонной древесины. Для минимизации возможных флуктуаций исследователь может выбрать годичные кольца не полного возрастного спектра дерева, а только последние несколько десятилетий или пятилетий. Для нивелирования эффекта мобильности S и других элементов в ксилеме анализируются пятилетние сегменты кернов.

Влияние элементов-загрязнителей, попадающих в древесину деревьев, на ее параметры, и в частности ширину годичных колец, представляет особый интерес. Связь макро- и микроэлементного состава с ростом деревьев так или иначе зависит от многих факторов, как естественных, так и созданных техногенными источниками. К внешним факторам относятся: возраст деревьев, географическое положение мест произрастания, геолого-геохимические и меняющиеся погодно-климатические условия, наличие источников загрязнения.

Немаловажное значение имеет взаимодействие элементов, в том числе загрязнителей, при их поступлении в растения и перемещении в ксилеме. Так, в обзорно-обобщающей работе польских авторов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) отмечен антагонизм S в растениях с такими элементами, как Pb и Fe, хотя для Fe также отмечено и синергическое взаимодействие. В Республике Карелия на изученных участках такие различия, судя по полученным коэффициентам корреляции между lgS и Fe, особенно характерны для образцов из южных местообитаний: $r = -0.42$ и 0.89 (см. табл. 4). Для северных местообитаний то же самое отмечается для S и Pb, коэффициенты корреляции между логарифмами содержания которых варьируют от -0.54 до 0.93 . Отсутствие значимой отрицательной корреляционной связи между содержанием S и Pb может объясняться наложением на антагонистическое взаимодействие этих двух элементов в растениях резких свинцовых максимумов, возможно, в результате всплесков локального воздействия автомобильного транспорта (Рыбаков, 2016).

Заключение

В исследуемый период 1952–2001 гг. загрязнение территории Республики Карелия S формировалось за счет ее осаждения из атмосферных переносов от объектов, находящихся как в самом регионе, так и за его пределами. Сокращение эмиссий SO₂ от наиболее значимых источников позволяет лучше понять характер загрязнения от оставшихся крупных или локальных загрязнителей. Так, например, актуальной остается проблема значительных выбросов от объектов ОАО «Карельский окатыш» в г. Костомукше (Государственный доклад..., 2015).

В целом, несмотря на близкие для периодов 1952–1976 и 1977–2001 гг. оценки концентрации S в годичных кольцах, ее содержание гораздо теснее связано обратной статистической связью с радиальным приростом деревьев в более позднем 25-летнем периоде. Это частично объясняется влиянием интенсивного прироста 50–55-летних деревьев (опробованы в районе промышленного узла Сегежа – Надвоицы) в первые 20–25 лет их жизни, несмотря на относительно высокое (до 880–900 мг/кг) содержание S в соответствующих годичных кольцах. Вероятно, имеются и другие причины невозможности получения адекватной статистической модели для периода 1952–1976 гг.

И поступление S, и поступление тяжелых металлов в годичные кольца *Pinus sylvestris* L. замедляют радиальный рост деревьев. Вместе с тем пока нельзя со всей достоверностью сказать, что этот эффект вызван одновременным действием этих поллютантов и что в каких-то случаях мы не имеем дело с поступлением элементов в живые ткани вслед за основным ингибитором в связи с ослаблением у растений защитных барьеров. Так, в зоне комплексного воздействия выбросов Надвоицкого алюминиевого завода очень резкое за период 1977–2001 гг. уменьшение радиального прироста сосен могло быть усилено не столько повышенным содержанием тяжелых металлов, прежде всего таких сильных ингибиторов, как Ni и Cu, сколько эффектом суммации S и F.

Загрязнение S, прежде всего в форме выбросов SO₂, особенно в случае их увеличения, будет оставаться в Республике Карелия серьезной проблемой для окружающей среды. При снижении загрязнения следует ожидать дополнительного прироста биомассы растений, что в том числе может фиксироваться по увеличению ширины годичных колец в последующие периоды.

Библиография

Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V–VIII групп: Справ. изд. / А. Л. Бандман, Н. В. Волкова, Т. Д. Грехова и др.; Под ред. В. А. Филова и др. Л.: Химия, 1989. 592 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1997 году . Петрозаводск: Государственный комитет охраны окружающей среды по Республике Карелия, 1998. 220 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2000 году . Петрозаводск: Государственный комитет природных ресурсов по Республике Карелия, 2001. 248 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2001 году . Петрозаводск: Комитет природных ресурсов по Республике Карелия, 2002. 240 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2014 году / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: Verso, 2015. 272 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях : Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.

Медико-географический справочник Карельской АССР / Под ред. А. А. Келлера. Петрозаводск, 1990. 196 с.

Новиков С. Г. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв урбанизированных территорий по категориям землепользования (на примере г. Петрозаводска): Дис. ... канд. биол. наук / Петрозаводский государственный университет. Петрозаводск, 2014. 150 с.

Оценка доклада по «горячим точкам» Баренцева региона. Описание состояния 42 исходных экологических «горячих точек». Отчет Акваплан-нива . НЕФКО/БФГТ, 2013. 133 с.

Перельман А. И. Геохимия . М.: Высшая школа, 1989. 528 с.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 / Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19.02.2006 г. № 1. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_58393/ (дата обращения: 27.07.2016).

Рыбаков Д. С. Биогеохимическая оценка экологического риска на примере *Pinus sylvestris* L. // Принципы экологии. 2016. Т. 5. № 2. С. 40–55. DOI: 10.15393/j1.art.2016.4783.

Рыбаков Д. С. Критерии оценки экологических рисков на примере Республики Карелия. Отчет о НИР по теме № 148 . Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 73 с.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас . М.: Наука, 2008. 47 с.

Хантемиров Р. М. Биоиндикация загрязнения среды в прошлом на основе анализа содержания химических элементов в годичных слоях древесины // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Т. XVI. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. С. 153–164.

Червякова Ю. И. Комплексный анализ загрязнения атмосферного воздуха Мурманской области предприятиями металлургической и горно-химической промышленности за период с 2000 по 2012 годы // VI Международная студенческая электронная научная конференция. Студенческий научный форум 2014. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/pdf/5321.pdf> (дата обращения: 27.11.2016).

Cutter B. E., Guyette R. P. Anatomical, chemical and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistry studies // Journal of Environmental Quality. 1993. Vol. 22. №

3. P. 611–619.

Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis // *Atmospheric Environment*. 2014. Vol. 89. P. 672–682.

Lyytimäki J. Environmental protection in Finland. What is Finland doing to preserve its wilderness? 2014. URL: <https://finland.fi/life-society/environmental-protection-in-finland/> (дата обращения: 26.11.2016).

Mylona S. Sulphur dioxide emissions in Europe 1880–1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions // *Tellus*. 1996. Ser. B. 48. P. 662–689.

Vestreng V. European air pollution emission trends – review, validation and application / Dissertation presented for the degree of Doctor scientiarum. University of Oslo, 2008. 142 p. URL: <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-21250> (дата обращения: 25.11.2016).

Vestreng V., Myhre G., Fagerli H., Reis S., Tarrasón L. Twenty-five years of continuous sulphur dioxide emission reduction in Europe // *Atmospheric Chemical and Physics*, 7. 2007. P. 3663–3681. URL: www.atmos-chem-phys.net/7/3663/2007/ (дата обращения: 26.11.2016).

EFFECT OF SULPHUR POLLUTION ON THE RADIAL GROWTH OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN THE REPUBLIC OF KARELIA

RYBAKOV
Dmitry Sergeevich

*Ph.D., Institute of Geology, Karelian Research Center
(Pushkinskaya st., 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia,
Russia, 185910), rybakovd@krc.karelia.ru*

Keywords:

sulphur, heavy metals, chemical pollution, tree rings, *Pinus sylvestris* L.

Summary: The effect of sulphur, as a historically important pollutant in the Karelia region, on the radial growth (the width of annual rings) of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees was studied. The close negative correlation between the S and the width of annual rings averaged over five-year periods are typical for the period 1977–2001 (unlike 1952–1976). Some individual samples from northern habitats have deviations from this trend, including those associated presumably with a comparatively great influence of heavy metals on plant growth. This concerns in particular such strong inhibitors as Ni and Cu. The largest changes in the plant growth, which obviously due to the combined effect of S and F with the elevated concentration of heavy metals, were recorded in the zone exposed to the emissions from Nadvoitsky aluminum plant.

Received on:

09 December
2016

Published on:

29 June 2017



УДК 574.55:556.5(470.22)

АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОЕМОВ В РАЗНЫХ ЛАНДШАФТАХ КАРЕЛИИ

**ТЕКАНОВА
Елена
Валентиновна**

кандидат биологических наук, Институт водных проблем Севера Карельский научный центр РАН (185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50), etekanova@mail.ru

**КРАВЧЕНКО
Ирина Юрьевна**

Институт водных проблем Севера Карельский научный центр РАН (185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50), irina.potapova@inbox.ru

**ПОТАХИН
Максим Сергеевич**

кандидат географических наук, Институт водных проблем Севера Карельский научный центр РАН (185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50), mpotakhin@mail.ru

**БОГДАНОВА
Мария Сергеевна**

Институт водных проблем Севера Карельский научный центр РАН (185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50), mari-mb@mail.ru

Ключевые слова:

Ключевые слова:
озера Карелии,
ландшафт,
биопродуктивность,
водообмен,
водосбор,
цветность воды

Рецензент:

С. В. Баканев

Получена:

23 сентября 2016
года

**Подписана к
печати:**

29 июня 2017 года

Аннотация. Изучены природные абиотические факторы формирования биопродуктивности семи маловодообменных и малоприточных озер в разных ландшафтах Карелии. Водоемы характеризуются невысоким уровнем трофии (олиго- и мезотрофные). Статистический анализ показал, что при отсутствии антропогенного воздействия обеспеченность фосфором и уровень трофии изученных озер определяются условным водообменом, притоком на единицу толщи воды, цветностью воды и ландшафтными особенностями. Наиболее продуктивные из изученных водоемов расположены на флювиогляциальных и моренных равнинах. Они выделяются ббльшим привнесением фосфора в составе гумусовых веществ на единицу толщи воды с водосборной территории, где преобладают подзолистые почвы.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Озеро формируется и эволюционирует в условиях комплексного воздействия окружающей его территории, поэтому представляет собой единую систему с водосборной площадью. На морфологические, гидрологические, гидрофизические, гидрохимические особенности водоема влияют как зональные (температура, суммарная солнечная радиация, годовое количество осадков и испарение, модуль годового стока), так и азональные (подстилающие горные породы, рельеф, тип и

химия почв, соотношение подземного и поверхностного питания водоема, проточность) факторы (Драбкова, Сорокин, 1979). Влияние ландшафтных особенностей на биологический режим водоема носит опосредованный характер. Структурные и функциональные характеристики биоты отражают сложившиеся в данной климатической зоне и ландшафте особенности водоема. Уровень биопродуктивности водоемов одной климатической зоны будет зависеть в первую очередь от возможности насыщения озерной воды фосфором – главным биогенным элементом, лимитирующим развитие автотрофной компоненты экосистемы.

Настоящая работа направлена на выявление природных закономерностей формирования первичной продукции малых водоемов Карелии в разных ландшафтных зонах. Сведения о ландшафтных особенностях, гидрологии, морфологии и химии воды пяти озер (Коверъярви, Леликозеро, Мягрозеро, Гижозеро, Кондозеро) представлены в этой работе впервые.

Материалы

Работа выполнена на семи водоемах, расположенных в трех ландшафтных районах среднетаежной зоны южной части Карелии (ледораздельная возвышенность, моренный и сельговый). Все водоемы относятся к категории маловодообменных и слабо приточных и практически не затронуты антропогенной деятельностью (рис. 1).

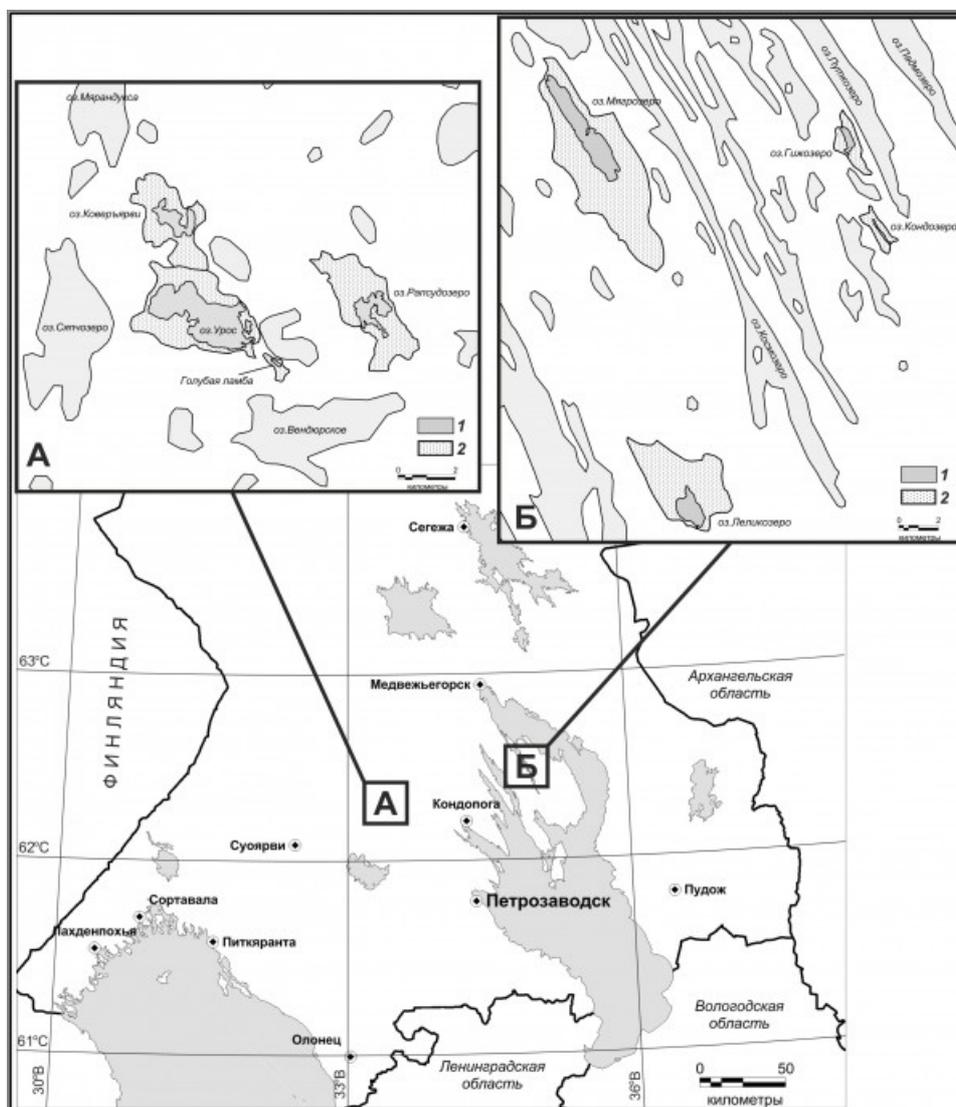


Рис. 1. Карта-схема расположения озер: А – Вохтозерская ледораздельная возвышенность; Б – Заонежский полуостров; 1 – озеро; 2 – водосборная территория
Fig. 1. Scheme of the location of studied lakes: A – Vohtozerskaya iceshed height; B –

Zaonezhsky peninsula; 1 – Lake; 2 – Water-collecting area

Озера Урос, Рапсудозеро и Коверъярви расположены на Вохтозерской ледораздельной возвышенности с сильно перемытыми четвертичными отложениями и бедными гумусом кислыми иллювиально-железистыми подзолистыми почвами. На водосборе оз. Урос преобладают геокомплексы флювиогляциальных гряд и равнин, а также торфяники, Рапсудозеро и Коверъярви лежат на флювиогляциальных и моренных равнинах и торфяниках. Озера Леликозеро и Мягрозеро находятся в моренном, Гижозеро и Кондозеро — сельговом ландшафтах Заонежья с более богатыми гумусом буроземами и дерновыми почвами (см. рис. 1).

В работе были использованы следующие характеристики водоемов: средневегетационная скорость фотосинтеза фитопланктона, средняя глубина, насыщение воды кислородом, минерализация, цветность, БПК₅, pH и перманганатная окисляемость воды, заболоченность водосборной территории, удельный водосбор, удельный водосбор по Шиндлеру, условный водообмен, преобладающий тип почв (табл. 1). Пробы воды для определения химических показателей на озерах Урос ($n = 9$), Рапсудозеро ($n = 8$), Коверъярви ($n = 7$), Леликозеро ($n = 6$), Мягрозеро ($n = 6$), Гижозеро ($n = 5$), Кондозеро ($n = 3$) были взяты в центральной части водоемов в зимний, весенний и летний периоды 2011 и 2012 гг.

Таблица 1. Характеристика водосборной территории, гидрологические и гидрохимические показатели изученных озер

Показатель	Урос	Рапсуд-озеро	Коверъярви	Леликозеро	Мягрозеро	Гижозеро	Кондозеро
Глубина							
средняя, м	2.3	3.4	2.5	5.7	5.6	5.2	7.6
Тип почв	подзолы	подзолы	подзолы	буроземы	буроземы	подбуры	подбуры
Заболоченность, %	49	33	32	11	14	9	7
Удельный водосбор	2.1	6.9	5.6	4.8	3.8	3.8	6.4
Условный водообмен, год ⁻¹	0.41	0.85	0.89	0.36	0.36	0.39	0.39
Удельный водосбор по Шиндлеру	0.43	2.32	2.23	0.84	0.83	0.93	0.99
Минерализация, мг/л							
Сред.	10.7	12.7	14	16.3	108.7	32.1	13.7
Min	5.5	10.6	11.1	13.6	104.6	31.3	13.6
Max	12.8	14.1	22.7	19.9	133.2	33.6	13.8
pH							
Сред.	6.3	6.7	6.6	6.6	7.8	7.3	6.3
Min	5.9	6.1	6.4	6.3	7.4	6.7	6
Max	6.6	6.9	6.9	7	8.2	7.4	6.5
Насыщение воды кислородом, %							
Сред.	91	85	84	83	67	84	73
Min	60	10	78	20	33	46	52
Max	96	94	90	96	108	98	94

Цветность, град.							
Сред.	10	22	92	10	10	13	26
Min	3	15	65	7	5	13	26
Max	15	35	118	12	10	14	27
БПК5, мг O ₂ /л							
Сред.	0.45	0.75	1.1	0.73	1.16	0.93	1.08
Min	0.23	0.43	0.66	0.5	0.72	0.65	1.04
Max	1.59	2.56	2.33	1.78	1.58	1.22	1.12
Перманганатная окисляемость воды, мг O/л							
Сред.	4.05	5.9	12.9	4.53	5.03	5.86	7.4
Min	3.67	5.08	10.5	4.02	3.57	4.04	7.14
Max	6.57	7.34	15.1	4.98	5.86	8.7	7.66
P _{общ.} , мкг/л							
Сред.	7	20.8	17.2	7.1	10	8.9	11
Min	4.3	9.8	12.5	4.5	7.2	6.8	9
Max	11.9	29.1	21.2	11.9	23.8	11	13

Методы

Трофический статус озер оценивался по продукции фитопланктона (Винберг, 1960; Бульон, 1983). Средневегетационная скорость фотосинтеза фитопланктона рассчитывалась по концентрации фосфора в воде озер (см. табл. 1) с использованием уравнений 1 и 2 масс-балансовой модели потока вещества и энергии в водной экосистеме (Nakanson, Boulion, 2001; Бульон, 2005).

$$P_{php} = 30 \cdot Chl, \quad [1]$$

$$Chl = 0.073 \cdot TP^{1.451}, \quad [2]$$

где P_{php} – фотосинтез фитопланктона, мкг C/л•сут, Chl – концентрация хлорофилла «а», мкг/л, P – концентрация общего фосфора, мкг/л.

Кластерный и компонентный анализы выполнены в лицензированном пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru.

Результаты

За критерий биопродуктивности принята продукция фитопланктона (фотосинтез) — основа трофической сети и начальный этап потока вещества и энергии в водной экосистеме, широко используемая в трофических классификациях водоемов. По величине фотосинтеза озера Урос, Леликозеро, Гижозеро, Кондозеро и Мягрозеро относятся к олиготрофному, Коверьярви – к олигомезотрофному, Рапсудозеро — к мезотрофному типу водных экосистем (табл. 2).

Таблица 2. Средневегетационная скорость фотосинтеза

Показатель	Урос	Рапсуд-озеро	Коверьярви	Лелик-озеро	Мягр-озеро	Гиж-озеро	Конд-озеро
Фотосинтез, мг C/л•сут	36.9	179	135.9	37.6	61.9	49.7	71
Трофический тип	олиготрофный	мезотрофный	олигомезотрофный	олиготрофный	олиготрофный	олиготрофный	олиготрофный

По результатам кластерного анализа выделяются три группы озер (рис. 2). В первый кластер при минимальной дистанции сцепления входят Леликозеро и Гижозеро – схожие по глубине, с малыми величинами водообмена, удельного водосбора, заболоченности водосбора, фотосинтеза, цветности и с хорошим насыщением воды кислородом. К этой группе с бóльшей дистанцией сцепления примыкает оз. Кондозеро. Их сходство ограничивается величинами условного водообмена, удельного водосбора по Шиндлеру, степенью заболоченности, в меньшей степени – величиной фотосинтеза. Затем к этой группе присоединяется оз. Урос по признакам общего сходства показателей условного водообмена и фотосинтеза (см. табл. 1, 2).

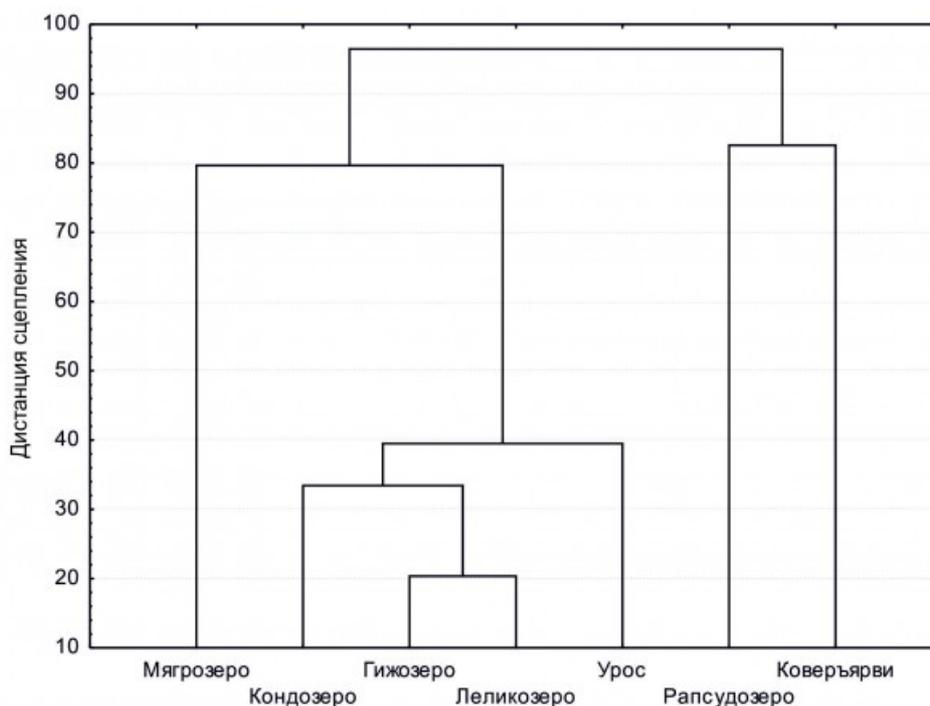


Рис. 2. Дендрограмма классификации изученных озер методом ближайшего соседа. Одиночное сцепление

Fig. 2. Dendrogram of classification of studied lakes by the nearest-neighbour method. Single lincage

Вторую группу составляют Рапсудозеро и Коверъярви, которые отличаются от остальных водоемов самыми большими величинами водообмена, удельного водосбора по Шиндлеру, заболоченности водосбора, типом почв и более высоким фотосинтезом (см. табл. 1, 2).

Отдельную группу представляет оз. Мягрозеро, главным образом за счет очень больших отличий от остальных водоемов в минерализации воды, реакции среды и насыщении воды кислородом по причине большой доли подземного питания в водном балансе. Как известно, грунтовые воды более минерализованные, щелочные и содержат меньше кислорода, чем поверхностные. При этом по многим другим показателям (степень заболоченности водосбора, удельный водосбор, условный водообмен, цветность воды, фотосинтез) водоем связан с первой группой (см. табл. 1, 2).

Для выявления сопряженности фотосинтеза и внешних факторов среды был выполнен компонентный анализ. Учитывая небольшой объем выборки, для подтверждения достоверности факторных нагрузок анализ был проведен не только для всех семи водоемов, но и после поочередного исключения из выборки того или иного водоема (8 вариантов анализа). Действительно достоверными считались

факторные нагрузки более 0.7 по абсолютному значению во всех вариантах анализа.

По результатам компонентного анализа первые две компоненты (фактор 1 и фактор 2) отразили существенную долю общей изменчивости признаков – 74 % (табл. 3). В первую главную компоненту с действительно достоверной положительной факторной нагрузкой, подтвержденной во всех вариантах анализа, вошли следующие показатели: средневегетационная скорость фотосинтеза, цветность воды, условный водообмен, удельный водосбор по Шиндлеру. Факторная нагрузка показателя «тип почвы» оказалась достоверной в 7 из 8 вариантов компонентного анализа, а показателя «средняя глубина» – в 6 вариантах.

Таблица 3. Результаты компонентного анализа (факторные нагрузки признаков) семи изученных озер

Переменная	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Заболоченность, %	-0.661	0.616	-0.321
Удельный водосбор	-0.43	-0.664	0.449
Условный водообмен	-0.944	-0.267	-0.126
Удельный водосбор по Шиндлеру	-0.825	-0.486	-0.046
Минерализация, мг/л	0.57	-0.343	-0.735
pH	0.483	-0.372	-0.705
Насыщение O ₂ , %	-0.56	0.71	0.192
Цветность, град.	-0.73	-0.441	-0.024
Фотосинтез, мкг С/л•сут	-0.797	-0.415	-0.097
Тип почвы	0.752	-0.367	0.429
БПК ₅ , мг O ₂ /л	0.16	-0.944	-0.15
Перманганатная окисляемость, мг O/л	-0.63	-0.583	0.052
Глубина средняя, м	0.737	-0.477	0.447
Доля в общей дисперсии, %	44.3	29.6	14

Во вторую главную компоненту при анализе 7 озер с достоверными факторными нагрузками вошли показатели «насыщение воды кислородом» и «БПК₅» (легкоминерализуемое органическое вещество), однако в ходе проверки с поочередным изъятием из выборки одного из водоемов достоверность этой связи была подтверждена лишь в 5 из 8 случаев.

В третью компоненту (фактор 3), отражающую 14 % общей изменчивости признаков, с достоверной факторной нагрузкой во всех вариантах анализа вошли показатели «минерализация» и «pH воды».

Обсуждение

Так как средневегетационная скорость фотосинтеза была рассчитана по содержанию в воде общего фосфора, очевидно, что выполненный анализ выявлял факторы, влияющие на обеспеченность изученных водоемов фосфором – главным биогенным элементом, определяющим уровень первичной продукции и, соответственно, биопродуктивность большинства пресноводных экосистем.

Более продуктивные водоемы Рапсудозеро (мезотрофный) и Коверьярви (олиго-мезотрофный) расположены в пределах Вохтозерской ледораздельной возвышенности на флювиогляциальных и моренных равнинах в сочетании с торфяниками и преимущественно подзолистыми почвами с хорошим промывным режимом и

растворимыми гумусовыми веществами. Эти озера характеризуются наибольшими величинами условного водообмена, удельного водосбора, цветности воды.

Малопродуктивные (олиготрофные) озера обнаружены в Заонежье на сельговых грядах с маломощным слоем элювиальных, делювиальных и моренных отложений и выходами коренных пород с преобладанием подбуров (Гижозеро и Кондозеро), а также на моренных равнинах, сложенных песчано-валунными отложениями и торфяниками с преимущественно буроземными почвами (Леликозеро, Мягрозеро). В отличие от первой группы, эти водоемы обладают низкой цветностью воды, очень слабой приточностью и проточностью, а почвы характеризуются наличием грубого гумуса.

Кроме того, на Вохтозерской ледораздельной возвышенности в том же геоконтакте, что и самые продуктивные Рапсудозеро и Коверъярви, находится олиготрофное оз. Урос. С другими олиготрофными водоемами его объединяют низкие показатели цветности, условного водообмена и удельного водосбора.

Как было показано П. А. Лозовиком (2006, 2013), в поверхностных водах гумидной зоны фосфор в водоемах находится, главным образом, в составе комплексов с железом и почвенным гумусом, поэтому его концентрация тесно связана с величиной цветности воды. Поступление фосфора в водоем определяется выносом этих комплексов с водосборной территории с русловым и склоновым стоками, то есть величиной приточности (условный водообмен, удельный водосбор). Увеличение проточности водоема закономерно ведет к возрастанию концентрации фосфора в воде. Однако при достижении определенной степени проточности концентрация фосфора в водоеме определяются уже не поступлением их с водосбора, а выносом из озера, и уровень трофии таких озер снижается (Драбкова, Сорокин, 1979; Сорокин, 1983; Китаев, 1984; Лозовик, 2006 и др.). Среди изученных маловодообменных озер связь уровня трофии и удельных показателей приточности и проточности положительная и определяется привнесением фосфора в водоемы (см. табл. 3). Примечательно, что достоверной оказалась связь трофии не с широко известным в гидрологии показателем удельного водосбора, который характеризует приток на единицу поверхности водоема, а с показателем удельного водосбора, предложенным Шиндлером (Schindler, 1971), в котором оценивается приток на единицу толщи воды. Это вполне объяснимо, так как поступающий в водоем фосфор также распределяется в толще воды.

Заключение

В целом изученные озера характеризуются невысоким уровнем трофии. При отсутствии антропогенного воздействия обеспеченность этих водоемов фосфором и формирование их биопродуктивности определяются комплексом азональных абиотических факторов. Скорость фотосинтеза (и концентрация фосфора в воде) в озерах положительно связана с условным водообменом, удельным водосбором по Шиндлеру, цветностью воды и зависит от ландшафтных особенностей. Наиболее продуктивные озера Рапсудозеро (мезотрофный) и Коверъярви (олиготрофный) расположены на флювиогляциальных и моренных равнинах. Они выделяются бóльшим привнесением фосфора в составе гумусовых веществ на единицу толщи воды с водосборной территории, где преобладают подзолистые почвы. Олиготрофные озера Леликозеро, Гижозеро, Кондозеро, Мягрозеро находятся в моренном и сельговом ландшафтах с преобладанием подбуров и буроземов. Эти озера характеризуются меньшей проточностью и приточностью, а соответственно, низкими величинами цветности воды и поступления фосфора.

Библиография

Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.

Бульон В. В. Моделирование потоков энергии в озерных экосистемах как инструмент гидробиологических исследований // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 3. С. 361–370.

Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов . Минск: АН БССР, 1960. 328 с.

Драбкова В. Г., Сорокин И. Н. Озеро и его водосбор – единая природная система . Л.: Наука, 1979. 195 с.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон . М.: Наука, 1984. 207 с.

Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 583–592.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивость к антропогенному воздействию: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук . М., 2006. 58 с.

Сорокин И. Н. Морфометрия озер и их внешний водообмен. Поступление и удержание веществ в озерах // Изменения в системе «водосбор-озеро» под влиянием антропогенного фактора. Л.: Наука, 1983. С. 69–78.

Hakanson L., Boulion V. V. A practical approach to predict the duration of the growing season for European lakes // Ecol. model. 2001. Vol. 140. № 3. P. 235–345.

Schindler D. W. A Hypotesis to explain differences and similarities among lakes in the experimental lakes area, northwestern Ontario // J. Fish. Res. Board Canada. 1971. Vol. 28. № 2. P. 295–310.

ANALYSIS OF THE NATURAL FACTORS OF BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF WATER BODIES IN THE DIFFERENT LANDSCAPES OF KARELIA

TEKANOVA
Elena Valentinovna

PhD, Northern Water Problems Institute Karelian Research Center RAS (185030 Russia, Petrozavodsk, A. Nevsky av. , 50), etekanova@mail.ru

KRAVCHENKO
Irina Yuryevna

Northern Water Problems Institute Karelian Research Center RAS (185030 Russia, Petrozavodsk, A. Nevsky av., 50), irina.potapova@inbox.ru

POTAKHIN
Maxim Sergeevich

PhD, Northern Water Problems Institute Karelian Research Center RAS (185030 Russia, Petrozavodsk, A. Nevsky av., 50), mpotakhin@mail.ru

BOGDANOVA
Maria Sergeevna

Northern Water Problems Institute Karelian Research Center RAS (185030 Russia, Petrozavodsk, A. Nevsky av., 50), mari-mb@mail.ru

Keywords: lakes of Karelia, landscape, biological productivity, water exchange, water-collecting area, water color

Reviewer:
S. .. Bakanev

Received on:
23 September
2016

Published on:
29 June 2017

Summary: Abiotic environmental factors of biological productivity were studied in seven lakes with low water exchange and a few inflows in different landscapes of Karelia (Russia). Lakes are not exposed to human impact. An indicator of the biological productivity is the phytoplankton photosynthesis rate calculated on the concentration of phosphorus in water. The water bodies vary from oligotrophic to mesotrophic according to their trophic level. Cluster and component analysis of chemicals was carried out, hydrological, morphometric and landscape characteristics of the lakes were also determined. It was shown that in the absence of anthropogenic influence the availability of phosphorus and trophic level of the studied lakes in the humid zone are determined by the water exchange, effluent per unit of water column, color of water and landscape features. The most productive water bodies are located on the fluvio-glacial and moraine plains dominated by podsollic soils, which have a good flushing regime and soluble humus substances. These lakes are distinguished by a larger inflow of phosphorus forming a part of humus substances originated from the water-collecting area per unit of water column. Oligotrophic lakes are located in moraine and selga landscapes dominated by podbours and brown soils with a lot of humus slightly transformed. These lakes are characterized by less water exchange and drainage factor, and, accordingly, low values of phosphorus input and water color.



УДК 598.243.1:591.521(470.22)

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГНЕЗДОВОЙ ГРУППИРОВКИ ПЕРЕВОЗЧИКА АСТИТИС HYPOLEUCOS L. В ВОСТОЧНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ

ХОХЛОВА
Татьяна Юрьевна

д. б. н., ИБ КарНЦ РАН (185910, г. Петрозаводск, ул.
Пушкинская, д. 11), t.hokhlova@mail.ru

**Ключевые
слова:**

морфометрия,
популяция,
перевозчик
Actitis hypoleucos,
Ладожское озеро

Рецензент:

В. В. Тарасов

Получена:

11 января 2017
года

**Подписана к
печати:**

29 июня 2017
года

Аннотация. Проанализированы основные морфометрические показатели, характеризующие популяцию перевозчика *Actitis hypoleucos* юго-восточного Приладожья. Взрослых размножающихся куликов отлавливали при выводках в июне – середине июля 1990–2007 гг. По внешней морфологии изученная выборка перевозчиков из Приладожья не отличается от прочих известных европейских выборок вида. Средняя длина крыла всех измеренных перевозчиков ($N = 178$) равна 112.8 ± 0.22 (104–120) мм, хвоста (172) – 57.3 ± 0.22 (49–65) мм, цевки (119) – 24.9 ± 0.12 (21–29) мм, клюва (159) – 28.2 ± 0.11 (24–32) мм. Годовальные впервые гнездящиеся птицы в среднем мельче особей старших возрастов (длина крыла соответственно 111.9 ± 0.47 мм и 113.3 ± 0.37 мм), у старших птиц длина крыла и хвоста может варьировать по годам без определенной тенденции. К концу гнездового сезона длина крыла значительно сокращается из-за постепенного обноса оперения. Размеры самок и самцов почти полностью перекрываются. Показано, что птицы не ориентируются на них при формировании пары: в разные годы партнеры одной особи могут быть то мельче, то крупнее. Эффективность определения пола гнездящихся перевозчиков с помощью морфометрических индексов, рассчитанных на основе измерений пролетных птиц, нуждается в проверке, поскольку при их вычислении не учитывают присутствия в выборках особей разного возраста и возможные различия в степени обноса оперения самок и самцов, мигрирующих в разные сроки.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Характеристика размеров – не только неотъемлемая составляющая описания любого вида животных. Морфометрические показатели используют при выделении подвидов, сравнении популяций, определении возраста и пола, расчетах энергетических затрат на жизнеобеспечение и т. п. Нередко прежде всего на них опираются при отсутствии у вида диморфизма в окраске оперения и поведении.

Перевозчик *Actitis hypoleucos* (Linnaeus, 1758) – мономорфный представитель отряда Ржанкообразных (Charadriiformes) с обширным гнездовым ареалом, который простирается от Атлантического до Тихого океана, зимовочный – охватывает огромные

пространства от Африки до Юго-восточной Азии (Гладков, 1951; Козлова, 1961). Птицы, гнездящиеся в Европе, в том числе на северо-западе России, зимуют в Африке (Штифель и др., 1985; Резвый и др., 1995; Wernham et al., 2002; Valkama et al., 2014).

Генетические исследования не выявили наличия у вида четко дифференцируемых географических популяций (Zink et al., 2008; Hung et al., 2013). Вместе с тем вероятное разделение зимовок птиц из восточных и западных частей ареала, а также достаточно высокая степень гнездового консерватизма (Holland, Yalden, 1991; Dougall et al., 2005; Хохлова, Лунина, 2016) создают предпосылки для формирования территориальных группировок, которые могут отличаться в том числе и биометрическими показателями. Однако надежных показателей, которые позволяли бы судить об их вариациях в пределах ареала, пока очень немного, поскольку в большинстве случаев при расчетах использовали либо малые выборки музейных экземпляров, либо данные измерений живых птиц, отловленных во время сезонных миграций на местах остановки и смешения особей из разных регионов.

В ходе многолетних исследований в восточном Приладожье были использованы методы отлова, исключающие возможность попадания в выборку мигрантов, что позволило получить представление о морфометрических показателях локальной гнездовой популяции перевозчиков южной части Карелии.

Методы

Работы проводили на стационаре Института биологии КарНЦ РАН «Маячино» (60° 46' с. ш., 32° 48' в. д.) в 1990–2007 гг. Ежедневный контроль птиц и поиск гнезд и выводков на 5 км участке побережья Ладожского озера начинали в середине мая и заканчивали в августе.

Изучены морфометрические показатели взрослых размножающихся перевозчиков. Птиц ловили и кольцевали после вылупления птенцов, чтобы не привлекать к кладкам внимание серых ворон *Corvus corone* и других разорителей гнезд, постоянно присутствующих на побережье. Это давало возможность сразу выявлять родителей, но затрудняло определение их пола из-за отсутствия у вида полового диморфизма не только в окраске оперения, но и в поведении в период насиживания и вождения выводков. Кроме того, к этому времени уже нельзя было определить пол и по форме клоакального выступа отловленных особей. Он был установлен лишь у части маркированных птиц, вернувшихся с зимовок, по их поведению в предбрачный период. Данный способ визуального определения пола считают наиболее надежным (Dougall et al., 2010), хотя и здесь трудно избежать ошибок из-за большой подвижности птиц во время брачных игр. Современный способ определения пола генетическим методом не применяли.

Для отловов использовали лучки, в центр которых помещали птенцов, в редких случаях – паутинные сети (Хохлова, Лунина, 2015а). В зависимости от окраски и состояния оперения, пойманных птиц относили к младшей (годовалые) или старшей возрастной группе (Meissner et al., 2015; Blasco-Zumeta, Heinze, 2016). Всего индивидуальным сочетанием цветных колец помечено 140 взрослых птиц, 45 % которых возвращались в течение 1–7 лет (Хохлова, Лунина, 2016). Если обе птицы в паре были визуальным идентифицированы по индивидуальной маркировке, их повторно не ловили.

У пойманных птиц измеряли длину крыла, хвоста, цевки и клюва по стандартной методике (Виноградова и др., 1976). Кроме того, снимали промеры клюва от его кончика до уголка рта (клюв₂) и до ноздри (клюв₃). Измерения проводили с точностью до 0.5 мм, используя штангенциркуль или линейку с упором для крыла и хвоста. Все или большая часть размеров получены от 129 птиц (табл. 1), причем 36 особей, возвращавшихся после зимовки, были измерены по 2–4 раза в разные годы (всего 178 промеров для крыла). В табл. 2 приведены морфометрические характеристики вида, вычисленные с использованием как всех промеров, так и средних значений для особей, измеренных повторно.

Анализ данных и расчеты производили с использованием возможностей Access и Excel. При обработке применены обычные статистические методы (Ивантер, Коросов, 2011). Средние величины указаны с ошибкой средней.

Результаты

Перевозчик – самый массовый вид куликов на побережьях водоемов Карелии в период размножения. На контролируемом участке Ладожского озера его средняя численность колебалась по годам от 2.6 до 6.3 пар/км, достигая на каменистых пляжах 12 пар/км береговой линии. Прилет происходил в конце апреля – начале мая. Период откладки яиц растянут на 1.5 месяца: крайние даты начала кладок – 7.05–23.06, вылупления птенцов – 2.06–12.07 (Хохлова, Лунина, 2015б). Все местные маркированные птицы, как взрослые, так и молодые, покидали побережье к началу августа.

Результаты повторных измерений птиц, вернувшихся с зимовок, не всегда совпадали со значениями предшествующего сезона (см. табл. 1). Это расхождение было минимальным для цевки и клюва, тогда как длина крыла и хвоста у некоторых птиц значительно колебалась по годам, составив в среднем 1.3 мм для крыла и около 2 мм для хвоста (см. табл. 1), что позволяет предполагать, что наряду с возможными ошибками измерения оно могло быть обусловлено разной степенью обношенности перьев и межгодовыми колебаниями их длины из-за особенностей условий протекания предбрачной линьки.

Таблица 1. Изменения длины крыла и хвоста перевозчика, измеренных повторно в разные годы (без разделения по полу)

Table 1. Changes in the wing and tail length of the Common Sandpipers *Actitis hypoleucos* measured repeatedly in different years (sexes combined)

Количество измерений (разные годы)	Число особей с данным диапазоном изменений								Средняя величина изменений длины, $M \pm m$	
	хвоста, мм		длины крыла /						крыла	хвоста
	0	1	2	3	4	5	8	всего		
2	8 / 4	13 / 10	1 / 5	2 / 4	1 / 1	- / 1	- / 1	25 / 26	1.0 ± 0.21	1.6 ± 0.25
3	- / -	4 / 2	4 / 2	1 / 2	- / 1	- / -	- / -	9 / 7	1.7 ± 0.71	2.3 ± 0.45
4	- / -	- / 1	1 / -	1 / -	-	- / 1	- / -	2 / 2	2.5 ± 0.71	3.0 ± 2.83
Всего	8/4	17/13	6/7	4/6	1/2	-/2	-/1	36/35	1.3 ± 0.17	1.9 ± 0.23

При сравнении морфометрических характеристик, рассчитанных с использованием всех промеров и средних значений для особей, измеренных повторно, различия между ними оказались незначительными и статистически недостоверными для всех показателей.

Большинство отловленных птиц (95 %) имели длину крыла 108–118 мм, хвоста – 52–63, цевки – 23–27 мм, клюва – 22–27 мм, и лишь у отдельных особей размеры выходили за эти границы (см. табл. 2). Предельные значения хорошо согласуются с данными авторов, работавших с гнездовым населением вида как в Англии (Holland et al., 1982; Yalden, 2012), так и в Норвегии (Løfaldli, 1981).

Таблица 2. Морфометрические характеристики перевозчика *A. hypoleucos*, вычисленные с использованием всех промеров (I) и средних показателей для особей, измеренных повторно (II), без разделения по полу

Table 2. Morphometrics of the Common Sandpiper *A. hypoleucos* (sexes combined) calculated using all measurements (I) and averages for individuals measured repeatedly (II)

Показатель	Длина, мм		
	<i>lim</i>	I. $M \pm m$ (N)	II. $M \pm m$ (N)
Крыло	104-120	112.8 ± 0.22 (178)	112.7 ± 0.26 (129)
Хвост	49-65	57.3 ± 0.22 (172)	57.2 ± 0.25 (127)
Цевка	21-29	24.9 ± 0.12 (119)	24.9 ± 0.14 (85)
Клюв	21-29	24.8 ± 0.12 (159)	24.9 ± 0.14 (118)
Клюв2	24-32	28.2 ± 0.11 (159)	28.3 ± 0.13 (119)
Клюв3	12-22	17.9 ± 0.11 (144)	17.9 ± 0.12 (107)

Кривая распределения птиц по наиболее популярному показателю – длине крыла – имеет два пика: основной (32 %) на значениях 111-112 мм и небольшой (15 %) на значениях 114 мм, что можно связать с присутствием в выборке птиц разного возраста и пола.

Годовалые птицы уступают в размерах птицам старших возрастных групп (табл. 3), по длине крыла различия статистически значимы ($t = 2.33, p = 0.05$). Тенденции к дальнейшему увеличению линейных показателей после 2-летнего возраста не выявлено.

Таблица 3. Морфометрические показатели перевозчиков *A. hypoleucos* разных возрастных групп (мм) без разделения по полу

Table 3. Morphometric characteristics of different age groups of the Common Sandpiper *A. hypoleucos* (in mm, sexes combined)

Возраст	Крыло			Хвост			Цевка		
	N	<i>lim</i>	$M \pm m$	N	<i>lim</i>	$M \pm m$	N	<i>lim</i>	$M \pm m$
1 год	44	104-119	111.9 ± 0.47	41	50-62	57.2 ± 0.39	21	21-28	24,9 ± 0,31
≥2 года	75	108-120	113.3 ± 0.37	76	50-64	57.4 ± 0.27	62	23-29	25,0 ± 0,10
??	59	107-119	113.0 ± 0.41	56	49-65	57.3 ± 0.43	23	21-27	24,4 ± 0,28
Возраст	Клюв			Клюв2			Клюв3		
	N	<i>lim</i>	$M \pm m$	N	<i>lim</i>	$M \pm m$	N	<i>lim</i>	$M \pm m$
1 год	42	22-29	24.9 ± 0.25	42	24-32	28.2 ± 0.24	40	15-20	17.9 ± 0.19
≥2 года	70	22-29	24.9 ± 0.18	69	25-32	28.3 ± 0.18	69	15-22	18.1 ± 0.17
??	47	21-28	24.6 ± 0.22	47	25-31	28.1 ± 0.20	36	12-20	17.6 ± 0.24

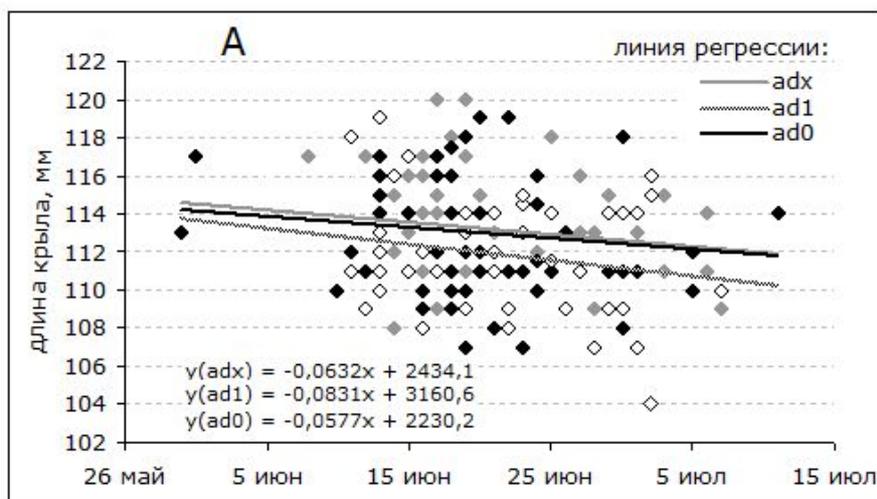
В течение сезона оперение птиц постепенно обнашивается, что приводит к сокращению длины крыла и хвоста. У гнездящихся птиц, отловленных до середины

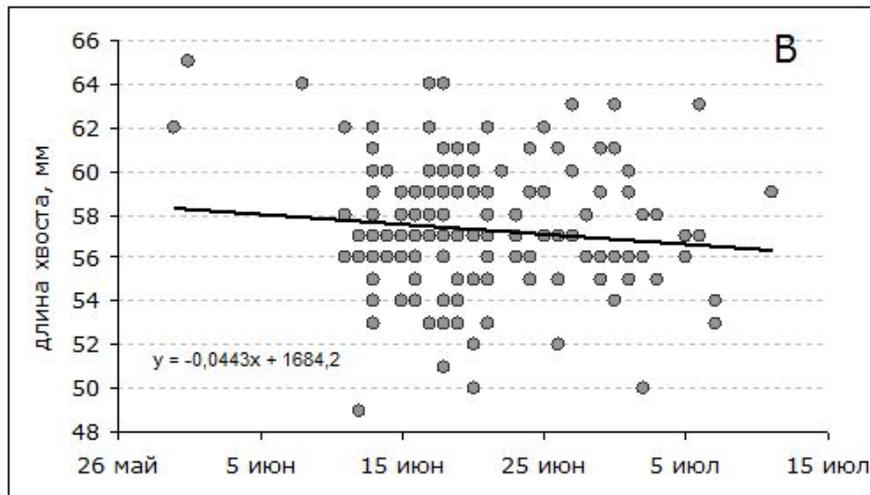
июня и после 25 июня, эта разница составила: для крыла - 1.5 мм ($t = 2.59, p = 0.01$), для хвоста - 0.6 мм (табл. 4). Кроме того, слегка увеличилась длина клюва по коньку из-за обноса оперения у его основания, тогда как длина цевки не изменилась.

Таблица 4. Морфометрические показатели перевозчиков *A. hypoleucos*, отловленных в Приладожье у выводков в разные сроки без разделения по полу (мм)
Table 4. Morphometric characteristics of the Common Sandpiper *A. hypoleucos* caught near broods in the Ladoga area in different time periods (in mm, sexes combined)

Сроки	Крыло			Хвост			Цевка		
	<i>N</i>	<i>lim</i>	$M \pm m$	<i>N</i>	<i>lim</i>	$M \pm m$	<i>N</i>	<i>lim</i>	$M \pm m$
30.05-5.06	52	108-119	113.4 ± 0.37	50	49-65	57.5 ± 0.41	46	23-29	24.9 ± 0.18
16-25.06	87	107-120	112.9 ± 0.34	84	50-64	57.3 ± 0.32	52	22-29	24.9 ± 0.19
26.06-1.07	39	104-118	111.9 ± 0.47	39	50-63	56.9 ± 0.50	21	21-28	24.9 ± 0.31
Сроки	Клюв			Клюв2			Клюв3		
	<i>N</i>	<i>lim</i>	$M \pm m$	<i>N</i>	<i>lim</i>	$M \pm m$	<i>N</i>	<i>lim</i>	$M \pm m$
30.05-5.06	51	22-28	24.9 ± 0.20	51	24-32	28.2 ± 0.24	50	16-20	18.1 ± 0.16
16-25.06	71	21-29	24.7 ± 0.18	71	25-31	28.1 ± 0.20	67	12-20	17.8 ± 0.16
26.06-1.07	37	21-29	25.2 ± 0.28	37	26-32	28.5 ± 0.22	27	10-22	17.9 ± 0.41

Тенденция к уменьшению размеров в течение лета прослеживается во всех возрастных группах (рисунок, А) и не связана с изменением их соотношения в выборках. Средняя длина крыла птиц всех возрастов, в соответствии с уравнением регрессии ($y = 2919.99 - 0.008x$), за 1.5 месяца сокращается примерно на 3 мм с достаточно высоким уровнем значимости ($F = 5.96; p = 0.02$). Рулевые перья обнащаются медленнее (рисунок, В): их сокращение на 2 мм не значимо ($F = 2.02, p = 0.16$).





Зависимость длины крыла (А) и хвоста (В) перевозчиков *A. hypoleucos* в Приладожье от даты отлова в гнездовой период. Возраст: ad1 – 1 год, adx – ≥ 2 года, ad0 – не известен

Dependence of the wing and tail length of the of Common Sandpiper *A. hypoleucos* on the date of catching in the Ladoga area during the breeding season. age: ad1 – 1 year, adx – ≥ 2 years, ad0 – is not known

Размеры самок и самцов, отловленных в Приладожье, почти полностью перекрывались. Две птицы с самыми длинными крыльями (120 мм), пойманные в середине июня, оказались самкой (хвост 59 мм) и самцом (61 мм) из разных пар. Длина крыла самых мелких особей (2 самца, 1 самка, 1 с неопределенным полом) составила 107 мм (хвост 54–58 мм). Мельче них была только 1 годовалая птица с сильно обношенным оперением, отловленная в поздние сроки (2 июля) и определенная как самка: крыло – 104 мм, хвост – 50 мм. В то же время у всех этих птиц, как мелких, так и крупных, показатели длины клюва и цевки были близки к средним.

При определении пола иногда пытаются использовать разницу в размерах гнездящихся партнеров (Yalden, 2012). В Приладожье в 65 случаях удалось одновременно поймать и измерить обеих птиц, что позволило исключить влияние сроков обследования на степень изношенности их оперения (табл. 5). В паре из наиболее мелких птиц длина крыла одного партнера составила 107 мм, хвоста – 58 мм, другого соответственно 109 и 56 мм. В паре из самых крупных особей длина крыла обеих птиц составила 119 мм, хвоста – 59 мм у самца и 62 мм у самки.

Таблица 5. Частота обнаружения (число) птиц с разной длиной крыла в 65 парах перевозчиков *A. hypoleucos*, отловленных одновременно

Table 5. Occurrence (number) of birds with different wing length in 65 pairs of the Common Sandpiper *A. hypoleucos* caught at the same time

Мелкий партнер	Число птиц с данной длиной крыла, мм											Всего	
	Крупный партнер												
Длина крыла	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
107	1						1						2
108			1			1	1						3
109			2		2	1		3		1			9
110				3	1	2		1					7
111				3	1	2	4	6	4	1			21
112				1		3		2	1		1		8

113					2		1			1	4	
114					2	2		2	1		7	
115							1				1	
116								1	1		2	
117-118											-	
119										1	1	
Всего	1	3	7	4	13	8	14	8	4	2	1	65

Средняя длина крыла крупного партнера составила 114.92 ± 0.28 мм, мелкого - 111.25 ± 0.27 мм ($t = 9.4$; $p = 0.001$). Однако результаты повторных отловов и наблюдений за маркированными особями в Приладожье показали, что при формировании пары кулики не принимают во внимание размеры друг друга: независимо от пола, у крупных особей партнеры обычно мельче, у мелких - крупнее. У особей средних размеров они могут быть как крупнее, так и мельче: из 17 птиц, сменивших в течение жизни нескольких партнеров, которых отлавливали одновременно с ними, 4 особи гнездились то с более крупной, то с более мелкой птицей (табл. 6, № 1, 3, 5, 6). Из-за этого по относительным размерам птиц в паре безошибочно определить пол партнеров невозможно.

Таблица 6. Результаты измерений длины крыла и хвоста птиц (I) и их партнеров (II), пойманных одновременно с ними

Table 6. The results of the wings and tails measurements of the birds (I) and their partners (II) caught at the same time

№	Дата отлова	I.				II.			
		Кольцо	Возраст	Крыло, мм	Хвост, мм	Кольцо	Возраст	Крыло, мм	Хвост, мм
1	28.06.1992	xc713472	ad0+1	109	56	xd126942	ad1?	107	58
	19.06.1995		ad0+4	111	55	xd505470	ad0	112	57
2	26.06.1992	xd126932	ad0	113	57	xd126931	ad1	109	52
	28.06.1993		ad0+1	113	58	xc713300	ad1?	109	55
3	19.06.1994	6/c207619	ad0	110	54	6/c207624	ad0	112	62
	16.06.1995		ad0+1	111	55	xd505459	ad0	109	54
4	21.06.1999	xc714716	ad x	111	56	xc714717	ad1	112	58
	14.06.2003		ad x+4	111	57	xd053230	ad x?	117	57
	14.06.2004		ad x+5	112	60	xd053255	ad0+1	116	57
5	01.07.2001	xc714753	ad1	114	60	xc714754	ad x	113	59
	15.06.2003		ad3	111	59	xd053255	ad0	117	59
6	22.06.2001	xd701200	ad0	111		xd701999	ad1	108	-
	19.06.2004		ad0+3	110	53	Pb157399	ad1	114	55
7	29.06.2002	xd053058	ad1	114	59	xd053057	ad0	111	56
	13.06.2003		ad2	116	58	xd053203	ad0	111	54
	18.06.2004		ad3	114	60	-«-	ad0+1	111	51
8	11.06.2002	6/c207800	ad0	117	65	xc714827	ad1	111	58
	12.06.2003		ad0+1	117	57	xd053086	ad x	111	56

	02.07.2002		ad1	116	56	xd053069	ad1	115	58
9	15.06.2003	xd053068	ad2	114	57	xd053250	ad0	114	58
	13.06.2004		ad3	115	56	-«-	ad0+1	114	58
10	13.06.2003		ad x	113	61	xd053209	ad1	110	55
	18.06.2004	xd053208	ad x+1	116	59	-«-	ad2	111	57
	17.05.2005		ad x+2	115	62	xd053315	ad1	111	57
11	13.06.2003	xd053221	ad1	116	60	xd053220	ad1?	113	62
	13.06.2004		ad2	116	58	Pb157370	ad x	112	55
12	14.06.2003	xd053239	ad x	115	56	xd053245	ad x	108	56
	16.06.2004		ad x+1	114	55	Pb157377	ad0	112	54
13	14.06.2003	xd053245	ad x	108	56	xd053239	ad x	115	56
	17.06.2004		ad x+1	109	53	xc714832	ad3	116	58
14	15.06.2003	xd053255	ad0	117	59	xc714753	ad3	111	59
	14.06.2004		ad0+1	116	57	xc714716	ad x+5	112	60
15	18.06.2003	xd053258	ad0	110	54	xd053259	ad0	116	56
	19.06.2004		ad0+1	113	53	xc714834	ad2	120	59
16	18.06.2003	xd053259	ad0	116	56	xd053258	ad0	111	52
	20.06.2004		ad0+1	115	59	Pb157400	ad x	110	54
17	30.06.2005	xd053331	ad1	109	56	xd053332	ad1	114	61
	16.06.2007		ad3	110	56	xd053365	ad1?	112	57

Обсуждение

Как и у других птиц, индивидуальные размеры перевозчика варьируют в довольно широких пределах. У птиц европейских популяций величина наиболее популярного показателя – длины крыла – варьирует между 102 и 121 мм, средние значения изменяются между 113.1 мм у особей, отловленных весной в свежем оперении, до 110.1 мм – осенью (Brown, 1973; Glutz von Blotzheim et al., 1977; Meissner, 1997; Yalden, 2012; Meissner, Krupa, 2016 и др.). Гнездовую популяцию из центральной Норвегии характеризует средний показатель 112.4 мм (Løfaldli, 1981), британскую – 113.3 мм (Robson, 1977), однако расхождение между ними может быть обусловлено не только популяционными особенностями, но и большей обношенностью оперения птиц на севере из-за поздних сроков прилета и отловов, а также способом измерения.

По морфометрическим показателям гнездовая группировка перевозчиков Приладожья не выделяется среди европейских популяций, а индивидуальные размеры варьируют в тех же широких пределах. Предельные значения для длины крыла – 104 и 120 мм, средний показатель – 112.7 мм.

Судя по величине партнеров в парах из самых мелких и самых крупных птиц (см. табл. 5), размеры самцов и самок перекрываются почти полностью, как и у перевозчиков других европейских популяций. Предельные значения длины крыла птиц разного пола, фигурирующие в литературных источниках, – 102–119 и 107–120 мм соответственно, клюва – 20.9–27.6 и 22.9–27.5 мм, цевки – 20.8–27.1 и 21.6–27.1 мм. При этом разные авторы, констатировавшие, что определить пол, используя промеры частей тела птиц, можно только у экстремально мелких или крупных особей, указывают разные границы отсечения (Meissner et al., 2015). При работе с гнездовой популяцией в Англии при определении пола наряду с другими способами использовали относительные размеры птиц в паре (Yalden, 2012). Указанные в данной статье

характеристики хорошо согласуются с показателями для крупных и мелких партнеров в Приладожье: длина крыла самок составила 114.4 мм (107–120, $N = 107$), самцов – 110.8 мм (103–119, $N = 92$). Однако, поскольку размеры птиц не играют роли при формировании пары (см. табл. 6), различия между полами, вероятно, значительно меньше.

На примере берингийских популяций чернозобика *Calidris alpina* было показано, что средние размеры самок и самцов куликов могут отличаться не только у разных подвидов, но и у птиц одного подвида в разных точках отлова (Gates et al., 2013). По литературным данным, в Западной Европе самки перевозчика обычно в среднем крупнее самцов (Løfaldli, 1981; Yalden, 2012; Meissner, Krupa, 2016 и др.), в Китае – мельче (Sandpiper..., 2016), объединение птиц из Европы и Азии дало одинаковые цифры (Cramp, Simmons, 1983).

В западной части ареала вида наибольшие различия в размерах птиц разного пола демонстрируют перевозчики, гнездящиеся в Норвегии: длина крыла – 108.7 и 115.3 мм (Løfaldli, 1981), и относительно небольшие, по музейным экземплярам, в центре и на севере европейской части России – 110.7 и 109.2 мм (Glutz von Blotzheim et al., 1977). Однако делать выводы о половых особенностях морфометрии птиц разных географических популяций по имеющимся данным не вполне корректно. Все авторы приводят средние показатели без учета соотношения в выборках птиц из разных возрастных групп и сроков их отлова. Вместе с тем у годовалых птиц они меньше, чем у особей старших возрастов, и у всех значимо меняются к концу сезона из-за обноса оперения. Картину искажают и ошибки при прижизненном определении пола, неизбежные из-за отсутствия у вида надежных половых маркеров.

Появление молекулярных методов исследований открыло новые возможности (Нестеренко и др., 1996; Griffiths et al., 1998 и др.). В 2005–2015 гг. в 3 пунктах Польши ПЦР-методом определили пол и промерили 247 самцов и 111 самок перевозчиков, отловленных на миграции с начала июня по середину сентября (Meissner, Krupa, 2016). По всем показателям самцы, мигрировавшие через Балтику, лишь немного уступали самкам, и только по средней длине крыла разрыв оказался значительным – 111.3 и 114.8 мм. Интересно, что эти цифры практически совпали с показателями для крупных и мелких партнеров в Приладожье – 111.3 и 114.9 мм (см. табл. 5). Проведя дискриминантный анализ по трем параметрам, включая размеры крыла, авторы вычислили индексы, отличавшие пол большинства отловленных ими особей. Однако сравниваемые ими выборки не вполне равноценны, поскольку самки были многочисленными лишь в начале миграции и, соответственно, имели менее обношенное оперение. В регионе, где проводились исследования, массовый пролет идет позднее – в конце июля – середине августа (Meissner, 1996). С июня по август, судя по линии регрессии, длина крыла перевозчиков может сократиться за счет обноса более чем на 5 мм (Iwajomo, Hedenström, 2011). Исходя из этого «базовые» различия между полами по данному показателю все же не столь значительны. Поэтому применение предложенных критериев для гнездящихся птиц с близкими сроками отлова может оказаться не столь эффективным и требует предварительной проверки.

Из-за более ранних сроков отлова самок складывается впечатление, что они мигрируют раньше. Однако обращает на себя внимание существенное нарушение соотношения полов среди птиц, пойманных в Польше: во всех трех пунктах работы число самок резко уступало числу самцов (1 : 2.2). Кроме того, в отличие от самцов их распределение в выборках по длине крыла было далеким от нормального, а доля особей с минимальными размерами (111 мм) сравнительно велика – около 7 %. Все это указывает на то, что самки этого трансконтинентального мигранта, способного к дальним броскам, могут использовать иные, чем у самцов, пути или другую миграционную стратегию, транзитом пересекая многие районы Европы. Подобное разделение на пролете особей разного пола уже обнаружено у некоторых видов Ржанкообразных (Nebel, 2007).

Не исключено также, что самки и самцы перевозчика из разных регионов летят разными путями, используя иные места для остановок. Предположение о присутствии

на стоянках в Польше птиц разных географических популяций соответствует «слегка бимодальному» (slightly bimodal) распределению особей по длине крыла в обеих выборках (Meissner, Krupa, 2016). В европейской части ареала осенняя миграция перевозчиков в том числе из соседней с Карелией Ленинградской области идет в юго-юго-западном направлении (Резвый и др., 1995). Судя по обнаружению в мае 1986 г. в Муезерском районе Карелии (63.30 N 31.40 E) годовалой птицы, окольцованной под Хельсинки 11.07.85 во время миграции, перевозчики, по крайней мере, из северной Карелии придерживаются этого же направления. Вполне вероятно, что часть «карельских» птиц после пересечения Балтики останавливается на отдых в Польше, однако доказать это на основе морфометрических показателей пока не представляется возможным.

Заключение

Перевозчики, гнездящиеся на северо-западе России и попадающие на зимовки в Африку через Западную Европу, по-видимому, достаточно тесно контактируют с птицами европейских популяций. Почти идентичные морфометрические характеристики гнездового населения восточного Приладожья хорошо согласуются с данными для других точек Европы. Их сближают близкие предельные и средние значения всех параметров, одинаково широкая амплитуда их колебаний, сходные темпы сокращения длины крыла и хвоста к концу сезона по мере обноса оперения. Показано также, что в Приладожье годовалые впервые гнездящиеся птицы мельче особей старших возрастов, а после 2-го года длина крыла и хвоста одной особи может варьировать по годам без определенной тенденции. Прижизненное определение пола после окончания предбрачного периода затруднено: размеры самок и самцов почти полностью перекрываются, а формирование пар происходит без учета размеров партнеров. Эффективность применения для гнездовых популяций вида морфометрических индексов, предлагаемых для определения пола (Meissner, Krupa, 2016), нуждается в проверке, поскольку они вычислены на основе измерений пролетных птиц без учета наличия в выборках птиц разных возрастов и разной степени обноса оперения особей, мигрирующих в разные сроки.

Библиография

- Виноградова Н. В., Дольник В. Р., Ефремов В. Д., Паевский В. А. Определение пола и возраста воробьиных птиц фауны СССР . М.: Наука, 1976. 189 с.
- Гладков Н. А. Перевозчик *Actitis hypoleucos* L. // Птицы Советского Союза / Под ред. Г. П. Дементьева и Н. А. Гладкова. М.: Сов. наука, 1951. Т. 3. С. 241–255.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию . Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 304 с.
- Козлова Е. В. Ржанкообразные. Подотряд Кулики . Серия: Фауна СССР. Птицы. Т. 2. Вып. 1. Ч. 2. М.; Л.: АН СССР, 1961. 502 с.
- Нестеренко О. Н., Антоненкова В. Г., Алискеров С. В. Определение пола птиц по хромосомным препаратам // Научные исследования в зоологических парках. М., 1996. № 6. С. 80–86.
- Резвый С. П., Носков Г. А., Гагинская А. Р. и др. Атлас миграций птиц Ленинградской области по данным кольцевания . Л.: СПб об-во естествоиспытателей, 1995. 236 с.
- Хохлова Т. Ю., Лунина Т. Л. Методы и основные результаты контроля популяции перевозчика *Actitis hypoleucos* в восточном Приладожье (Карелия) // Материалы юбилейной научно-практ. конф. «Роль заповедников России в сохранении и изучении природы»: Труды Окского гос. природного биосферного заповедника. Вып. 24. Рязань: НП «Голос губернии», 2015а. С. 172–175.
- Хохлова Т. Ю., Лунина Т. Л. Особенности гнездовой биологии и территориального поведения перевозчика *Actitis hypoleucos* L. в Восточном Приладожье // Вопросы экологии, миграции и охраны куликов Северной Евразии: Материалы 10-й юбилейной

- конф. рабочей группы по куликам Северной Евразии / Ред. И. И. Черничко, В. Н. Мельников. Иваново: Изд-во Ивановского гос. ун-та, 2016. С. 396–399.
- Штифель А., Приклонский С. Г., Постельных В. А. Перевозчик – *Actitis hypoleucos* L. // Миграции птиц Восточной Европы и Северной Азии: Журавлеобразные – ржанкообразные / Ред. В. Д. Ильичев. М.: Наука, 1985. С. 126–143.
- Blasco-Zumeta, Heinze. Common Sandpiper Ageing and sexing by // Ibercaja Aula en Red. URL2: <http://aulaenred.ibercaja.es/wp-content/uploads/Ahypoleucos.pdf> (дата обращения 13.12.2016).
- Brown S. C. Common Sandpiper biometrics // Wader Study Group Bull. 1973. Vol. 11. P. 18–23.
- Cramp S., Simmons K. E. L. (eds.). The Birds of the Western Palearctic. Vol. III. Waders to Gulls. Oxford; New York: Oxford University Press, 1983. 913 p.
- Dougall T. W., Holland P. K., Mee A., Yalden D. W. Comparative population dynamics of Common Sandpipers *Actitis hypoleucos*: living at the edge: Capsule Common Sandpiper populations at the edge of their range do not recruit so well // Bird Study. 2005. Vol. 52. № 1. P. 80–87. DOI: 1080/00063650509461376.
- Gates H. R., Yezerinac S., Powell A. N., Tomkovich P. S., Valchuk O. P., Lanctot R. B. Differentiation of subspecies and sexes of Beringian dunlin using morphometric measures // Journal of Field Ornithology. 2013. Vol. 84. P. 389–402.
- Glutz von Blotzheim U. N., Bauer K. M., Bezzel E. Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Vol. 7. Wiesbaden: Aula-Verlag, 1977. 895 p.
- Griffiths R., Double M. C., Orr K., Dawson R. J. G. A DNA test to sex most birds // Molecular Ecology. 1998. № 7. P. 1071–1075.
- Holland P. K., Robson J. E., Yalden D. W. The breeding biology of the common sandpiper *Actitis hypoleucos* in the Peak District // Bird Study. 1982. Vol. 29. № 2. P. 99–110.
- Holland P. K., Yalden D. W. Population dynamics of Common Sandpipers *Actitis hypoleucos* breeding along an upland river system // Bird Study. 1991. Vol. 38. P. 151–159.
- Hung C.-M., Drovetski S., Zink R. Multilocus test of the absence of mtDNA phylogeographic structure in a widespread wader, the Common Sandpiper (*Actitis hypoleucos*) // Journal of Ornithology. 2013. Vol. 154. P. 1105–1113.
- Iwajomo S. B., Hedenström A. Migration patterns and morphometrics of common sandpipers *Actitis hypoleucos* at Ottenby, southeastern Sweden // Ringing and Migration. 2011. Vol. 26. № 1. P. 38–47.
- Løfaldli L. On the breeding season biometrics of the common sandpiper // Ringing and Migration. 1981. Vol. 3. № 3. P. 133–136.
- Meissner W. Timing and phenology of autumn migration of common sandpiper (*Actitis hypoleucos*) at the Gulf of Gdansk // The Ring. 1996. Vol. 18. P. 59–72.
- Meissner W. Autumn migration and biometrics of the Common Sandpiper *Actitis hypoleucos* caught in the Gulf of Gdańsk // Ornis Fennica 1997. Vol. 74. P. 131–139.
- Meissner W., Holland P. K., Cofta T. Ageing and sexing series 11: Ageing and sexing the Common Sandpiper *Actitis hypoleucos* // Wader Study. 2015. Vol. 122. № 1. P. 54–59.
- Meissner W., Krupa R. Identifying the Sex of the Common Sandpiper (*Actitis hypoleucos*) by Linear Measurements // Ann. Zool. Fennici. 2016. Vol. 53. P. 175–182.
- Nebel S. Differential migration of shorebirds in the East Asian-Australasian Flyway // Emu. 2007. Vol. 107. P. 14–18.
- Robson J. E. Brief note on British breeding Common Sandpipers // Wader Study Group Bull. 1977. Vol. 21. P. 7–8.
- Sandpiper // Shared Encyclopedia URL1: <http://www.et97.com/view/254418.htm> (дата обращения 13.12.2016).
- Valkama J., Saurola P., Lehtikoinen A., Lehtikoinen E., Piha M., Sola P., Velmala W. Suomen rengastusatlas. Osa II. Helsinki: Luonnontieteellinen keskusmuseo & ympäristöministeriö, 2014. 784 s.
- Wernham C. V., Toms M. P., Marchant J. H., Clark J. A., Siriwardena G. M., Baillie S. R. (eds.). The Migration Atlas: Movements of the Birds of Britain and Ireland. London: T. & A. D. Poyser, 2002. 900 p.

Yalden D. W. Wing area, wing growth and wing loading of Common Sandpipers *Actitis hypoleucos* // Wader Study Group Bull. 2012. Vol. 119. № 2. P. 84–88.

Zink R. M., Pavlova A., Drovetski S., Rohwer S. Mitochondrial phylogeographies of five widespread Eurasian birds // Journal of Ornithology. 2008. Vol. 149. P. 399–413.

Благодарности

Выражаю глубокую признательность сотрудникам лаборатории зоологии КарНЦ РАН В. Б. Зиминут, А. В. Артемьеву, Н. В. Лапшину, студентам ПетрГУ Т. Л. Янкелович, С. А. Барановой, Л. Г. Корвяковой, Н. А. Улицкой и многим другим, кто оказывал помощь в поиске гнезд, отловах птиц и их ежедневном контроле на стационаре «Маячино». Благодарю П. С. Томковича, взявшего на себя труд ознакомиться с рукописью, за внимательное отношение, ценные замечания и комментарии, которые позволили дополнить и значительно улучшить текст статьи.

MORPHOMETRICS OF THE COMMON SANDPIPERS *ACTITIS HYPOLEUCOS* BREEDING ON THE EAST COAST OF LAKE LADOGA

**KHOKHLOVA
Tatyana**

D.Sc., IB KarSC RAS (185910, Petrozavodsk, Pushkinskaya st., 11), t.hokhlova@mail.ru

Keywords:
morphometrics,
population,
Common
Sandpiper *Actitis
hypoleucos*, Lake
Ladoga

Reviewer:
V. Tarasov

Received on:
11 January 2017
Published on:
29 June 2017

Summary: The main morphometric parameters describing the population of the Common Sandpipers *Actitis hypoleucos* were analyzed. The birds were captured in bringing forth nestlings in June - mid July, 1990–2007. The population of birds of the East coast of Ladoga does not differ from European ones according to its external parameters. Average wing length (N = 178) is 112.8 ± 0.22 (104–120) mm, tail (172) - 57.3 ± 0.22 (49–65 mm), tarsometatarsus (119) - 24.9 ± 0.12 (21–29) mm, bill (159) - 28.2 ± 0.11 (24–32) mm. Yearling birds nestling for the first time on an average less than older individuals (wing length - 111.9 ± 0.47 mm and 113.3 ± 0.37 mm, respectively), the wings and tails length of senior birds can vary from year to year without any certain tendency. It is established that the wing length is reduced significantly by the end of a breeding season because of the gradual destruction of a plumage. The sizes of females and males overlap almost entirely. It is shown that the birds do not focus on size when forming pairs: the first partner of bird may be either smaller or larger. The effectiveness of sex determination of breeding Common Sandpipers with the help of morphometric indices calculated on the basis of transient birds' measurements, needs verification as while calculating, the presence of mixed-aged individuals in samples is not considered as well as varying degrees of plumage destruction of females and males migrating in different time periods.



УДК 598.294.2(1-925.116)

ЦИКЛИЧНОСТЬ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ РЕПРОДУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВОГО ВОРОБЬЯ *PASSER MONTANUS*

ЧЕРНЫШОВ
Вячеслав
Михайлович

*кандидат биологических наук, Институт систематики и
экологии животных СО РАН (630091, Новосибирск, ул.
Фрунзе, 11), chernyshov@ngs.ru*

ЕРДАКОВ
Лев Николаевич

*доктор биологических наук, Институт систематики и
экологии животных СО РАН (630091, Новосибирск, ул.
Фрунзе, 11), microtus@yandex.ru*

Ключевые

слова: полевой воробей, *Passer montanus*, величина кладки, размеры яиц, многолетняя изменчивость, спектральный анализ, цикличность

Рецензент:

Б. Д. Куранов

Получена:

18 ноября 2016 года

Подписана к

печати:

29 июня 2017 года

Аннотация. Проведен спектральный анализ многолетней (1984–2005 гг.) динамики репродуктивных параметров полевого воробья *Passer montanus* в популяции из окрестностей озера Чаны (Барабинская лесостепь). Выявлена хорошо выраженная цикличность средней величины кладки и яиц у этого вида. Доминирующий цикл величины кладки у полевого воробья – 11-летний. Вероятно, он подстраивается к близким по периоду циклам динамики температуры воздуха во второй и третьей декадах мая, когда к размножению приступает наибольшее количество пар. Поскольку полевые воробьи выкармливают птенцов преимущественно насекомыми, обилие которых зависит от температурных условий, такая подстройка обеспечивает особям и популяции в целом более высокую продуктивность. Менее выраженные 3–4-летние циклы величины кладки, скорее всего, обусловлены внутрипопуляционными причинами. Среднесезонная плодовитость полевого воробья зависит от соотношения первой и второй кладок. Доля вторых кладок меняется с 3-летней и 12-летней (кратной 3-летней) периодичностью. Возможно, это связано с 3-летней динамикой возрастного состава, так как большинство годовалых особей полевого воробья моноцикличны. Спектры ритмов многолетних изменений линейных размеров и объема яиц у полевого воробья во многом сходны. Здесь самая мощная примерно 7-летняя цикличность, имеются выраженные небольшие по мощности 3- и 2-летние периодические составляющие. Вероятно, цикличность величины яиц определяется совокупностью целого ряда внешних и внутрипопуляционных факторов (кормовой базы, возрастного состава популяции, сроков и продолжительности сезона размножения).

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Со времен Чарльза Элтона (Elton, 1924) проведено огромное количество исследований циклических процессов в популяциях различных видов животных, в том

числе и птиц (см. обзор Lindström et al., 2001). У многих видов птиц хорошо известны межгодовые колебания численности и плодовитости (Klomp, 1970; Williams, 1985; Moss, Watson, 2001; Enemar et al., 2004; Nyholm, 2011). Как правило, они непосредственно или опосредованно (через погодные условия) связаны с флуктуациями кормовой базы и имеют адаптивный характер (Лэк, 1957; Klomp, 1970). В коррелятивной связи с начальной и конечной продукцией яиц находятся величина, линейные размеры и форма яйца, пигментация скорлупы (Мянд, 1988). Во многих исследованиях показана положительная связь качества и выживаемости птенцов с величиной яиц (Williams, 1994; Christians, 2002; Pinowska et al., 2004; Krist, 2011). Однако многолетняя динамика такого важного репродуктивного параметра птиц, как величина яиц, практически не изучена. Не ясна роль изменчивости репродуктивных показателей в динамике численности популяции. У воробьиных птиц популяционная регуляция за счет изменений величины кладки, по мнению В. А. Паевского (1985), маловероятна.

Целью нашего исследования было выявление характера многолетней цикличности величины кладки и ооморфологических показателей в популяции полевого воробья *Passer montanus* в окрестностях оз. Чаны (юг Западной Сибири).

Задачи исследования:

- оценка возможных связей между показателями;
- построение спектра ритмов динамики каждого показателя;
- расчеты периодов таких циклов и их мощности;
- оценка инвариантных периодов для хода каждого показателя;
- поиск близких по значению колебаний в природных местообитаниях для подстройки к ним популяционных ритмов полевого воробья.

Материалы

Материал собран в 1984–2005 гг. в Здвинском р-не Новосибирской области, на территории, прилегающей к юго-восточному побережью оз. Малые Чаны. Основная часть работы выполнена в двух ленточных осиново-березовых островных лесах-колках общей площадью 6 га, расположенных в районе устья р. Каргат.

Всего обследовано и находилось под наблюдением 1747 гнезд, промерено 7023 яйца.

На гнездах отловлена 671 взрослая особь, в том числе 135 брачных пар, окольцовано 4324 птенца.

Всего за годы исследований окольцовано свыше 9 тысяч особей. Большую часть из них отлавливали повторно, многих птиц неоднократно, из них 1035 особей зарегистрировано в последующие после кольцевания годы.

Методы

Размножение полевых воробьев изучали преимущественно с помощью развески искусственных гнездовых, в основном дощатых синичников с площадью дна от 100×100 до 120×120 мм и диаметром летка 32–40 мм, вешенных на высоте 1.5 м. В разные годы под наблюдением было от 50 до 300 искусственных гнездовых. В период размножения птиц проводили регулярные осмотры синичников и систематические наблюдения за обнаруженными гнездами с целью выяснения сроков гнездования, величины кладки и успешности размножения. Дата начала откладки яиц в каждом гнезде определялась путем непосредственных наблюдений либо оценивалась в результате соответствующих расчетов, исходя из насыщенности яиц, времени выклева или возрастных признаков птенцов.

Для оценки изменчивости величины яиц определяли с помощью штангенциркуля (точность деления 0.1 мм) их линейные размеры: длину (L) и максимальный диаметр (ширину) (B). Объем яиц вычисляли по формуле: $V = 0.51 \times L \times B^2$ (Hoyt, 1979), а индекс формы (округленности) – по формуле: $S_{ph} = (B/L) \times 100$ (Мянд, 1988). При изучении изменчивости ооморфологических признаков за исходные данные приняты средние арифметические всех яиц в каждой кладке.

Гнездящихся птиц отлавливали руками на кладках или с помощью специальных опадных клапанов во время выкармливания птенцов. Отлов полевых воробьев местной популяции с целью кольцевания и контроля производился также с помощью переносных «паутинных» сетей.

Сведения о погодных условиях взяты на сайте World Weather (Climate ZDVINSK..., 2015). Статистическая обработка данных проведена с помощью программного пакета Statistica 6.1. Расчеты гармонических составляющих сделаны с использованием программ спектрального анализа, находящихся в собственности института. Кроме того, для этой же цели применялась авторская программа А. В. Тарновского «Harms». Временные ряды всех хронограмм исследовались на содержание скрытых гармонических составляющих. Были построены спектры ритмов динамики величины кладки и ооморфологических параметров, а также рассчитаны периоды и мощности гармонических составляющих каждого такого спектра. Оценка спектральной плотности (PSD) проводилась методом Уэлча (Марпл-мл., 1990). Отобраны наиболее устойчивые картины распределения спектральной плотности (мощности). При вычислении функции спектральной плотности с исследуемого ряда снимали тренд, чтобы обеспечить стационарность процесса. Все расчеты выполнены с помощью свободной программной системы GNU Octave (GNU Octave, 2013), которая использует совместимый с MATLAB язык высокого уровня и представляет интерактивный командный интерфейс для решения различных линейных и нелинейных математических задач. В частности, для оценивания PSD-методом Уэлча использовалась функция `pwelch` из пакета расширений Octave-Forge (Octave-Forge..., 2013). Для удобства работы был разработан интерфейс, позволяющий проводить обмен данными и всю обработку, включая выбор размера и количества окон, графическое представление данных и т. п., в диалоговом режиме.

Результаты

Величина кладки. Литературные сведения о межгодовой изменчивости величины кладки полевого воробья противоречивы. В Хорватии у полевого воробья существенные межгодовые различия в плодовитости не отмечены (Dolenec et al., 2011), тогда как в Ростовской области (Lebedeva, 1999) и в Испании (Garcia-Navas, Sanz, 2012) эти различия значимы. В районе наших исследований среднее число яиц в кладке полевого воробья варьирует, и в разные годы значения могут существенно различаться как между смежными годами, так и отдаленными друг от друга. По данным за 22 года, достоверные отклонения среднесезонной величины кладки от средней многолетней (5.50 ± 0.02 яйца) отмечены 8 раз (Чернышов, 2011). Обусловленность таких различий не очевидна, и на хронограмме изменений величины кладки полевого воробья можно отметить только заметные колебания числа яиц (рис. 1). Некоторые изменения среднего числа яиц между смежными годами оказываются незначимыми. Чтобы выяснить, каковы периоды многолетних колебаний средней величины кладки, если они существуют, можно представить данные не на шкале времени, а на частотной шкале. Преобразовав хронограмму величины кладки у полевого воробья в спектр ритмов, находим, что на самом деле она имеет всего 4 значительные по мощности периодические составляющие, то есть это суперпозиция четырех циклов, один из которых обладает преобладающей мощностью, а три других незначительны и их мощность падает с увеличением частоты (см. рис. 1). Доминирующий цикл величины кладки у полевого воробья – 11-летний. Вероятно, он подстраивается к близким по периоду циклам динамики температуры воздуха во второй и третьей декадах мая (рис. 2а), когда к размножению приступает наибольшее количество пар. Поскольку полевые воробьи выкармливают птенцов преимущественно насекомыми, обилие которых зависит от температурных условий, такая подстройка обеспечивает особям и популяции в целом более высокую продуктивность в благоприятные годы. Менее выраженные 2–4-летние циклы величины кладки, скорее всего, обусловлены внутривидовыми причинами. У бициклического полевого воробья среднесезонная плодовитость зависит и от соотношения первой и второй

кладок. Доля вторых кладок изменяется с 3-летней и 12-летней (кратной 3-летней) периодичностью (рис. 2б). Возможно, это связано с трехлетней динамикой возрастного состава (таблица, рис. 2в), так как большинство годовалых особей полевого воробья моноцикличны, а первые кладки, как правило, крупнее вторых (Чернышов, 2011).

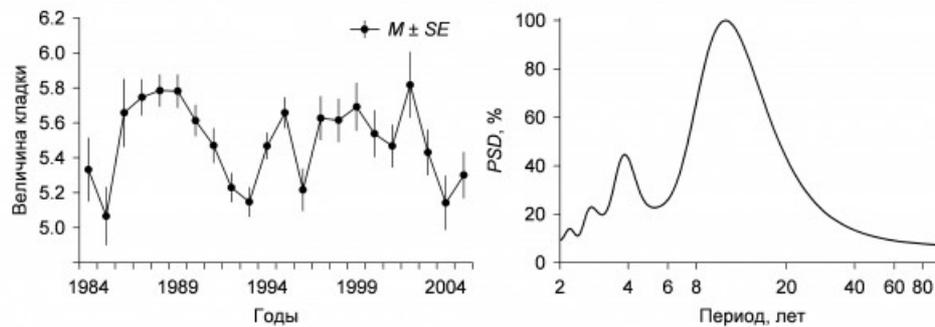


Рис. 1. Межгодовая динамика и спектр многолетних циклов величины кладки полевого воробья
 Fig. 1. Interannual dynamics and spectrum of multi-year cycles of clutch size of the Tree Sparrow

Межгодовые различия в возрастной структуре (доли особей каждого возраста, %)

Interannual differences in age structure (percentage of individuals of each age)

Год	n	Возраст (годы)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1982	47	91.5	2.1	2.1	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1983	50	28.0	68.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1984	70	68.6	11.4	18.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0
1985	113	71.7	19.5	4.4	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1986	74	50.0	33.8	10.8	1.4	4.1	0.0	0.0	0.0
1987	80	61.3	22.5	12.5	2.5	0.0	1.3	0.0	0.0
1988	77	74.0	16.9	6.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1989	50	34.0	50.0	8.0	6.0	2.0	0.0	0.0	0.0
1990	56	53.6	8.9	25.0	5.4	5.4	1.8	0.0	0.0
1991	69	75.4	5.8	5.8	8.7	2.9	0.0	1.4	0.0
1992	43	32.6	51.2	2.3	4.7	7.0	2.3	0.0	0.0
1993	46	45.7	13.0	26.1	2.2	4.3	6.5	2.2	0.0
1994	83	66.3	13.3	6.0	9.6	1.2	1.2	2.4	0.0
1995	74	52.7	37.8	4.1	1.4	2.7	0.0	1.4	0.0
1996	60	38.3	36.7	21.7	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7
1997	37	37.8	21.6	27.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1998	33	57.6	15.2	9.1	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0

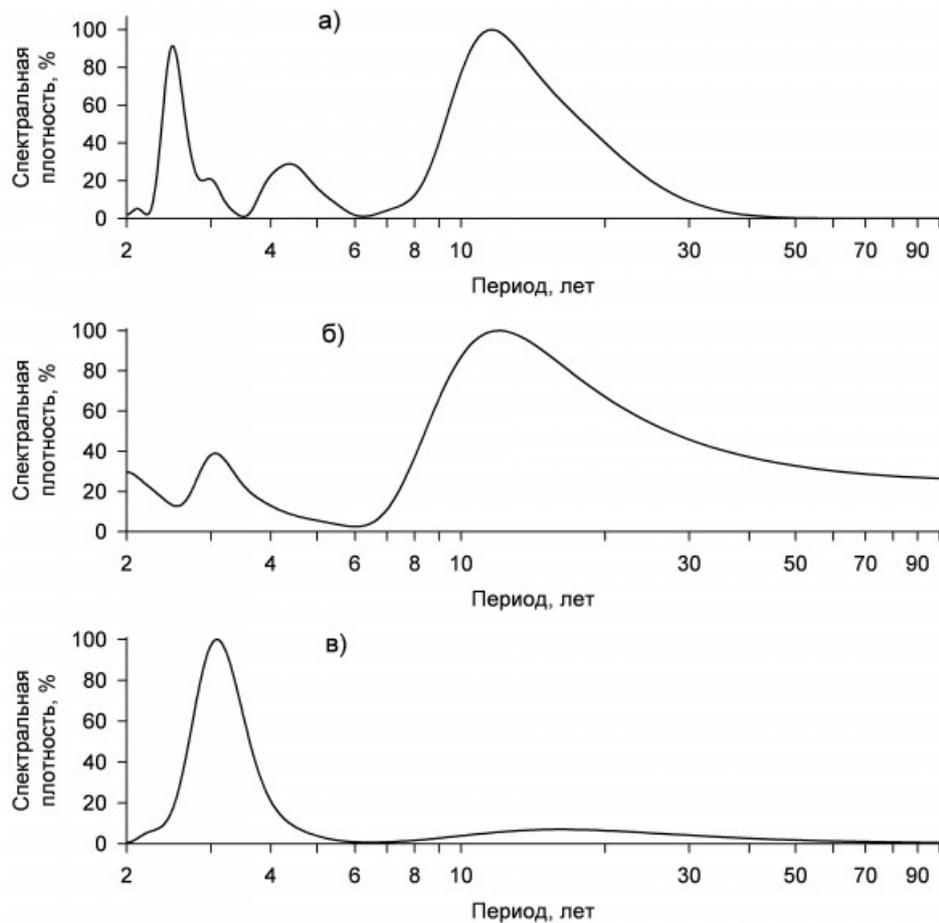


Рис. 2. Цикличность средней температуры воздуха во второй декаде мая (а), доли вторых кладок (б) и доли годовалых особей в популяции полевого воробья (в)

Fig. 2. Cyclicity of average air temperature in the second decade of May (a), the proportion of second clutches (б) and the proportion of one-year-old individuals in the population of the Tree Sparrow (в)

Морфология яиц. Ооморфологические показатели многих видов птиц в той или иной степени коррелируют с условиями сезона размножения, которые складываются в разные годы (Венгеров, 2001; Климов, 2003; Lebedeva, 1999). В Барабинской лесостепи достоверные отклонения среднесезонной длины яиц полевого воробья от средней величины за все годы зарегистрированы 5 раз, диаметра – 4 раза, объема – 8 раз. Существенных отклонений индекса округленности не отмечено. По мнению М. Громадского (Gromadzki, 1966), корреляции между длиной и шириной яиц не существует: ширина определяется величиной и возрастом птицы, а длина внешними условиями. П. Д. Венгеров (2001) также считает, что между признаками «длина» и «диаметр» яйца в процессе его формирования нет взаимозависимого роста и, следовательно, не может быть корреляции. Тот же ее обычно невысокий положительный уровень, регистрируемый при расчетах, есть результат опосредованной взаимосвязи через объем яйца. В чановской популяции полевого воробья, по данным анализа 1154 кладок, коэффициент корреляции между длиной и диаметром яиц составляет лишь 0.33, что соответствует данным, приводимым П. Д. Венгеровым по этому виду. Между линейными параметрами и объемом коэффициенты корреляции составляют 0.78 и 0.82 соответственно. Корреляция среднегодовых значений параметров яиц ($n = 22$) существенно выше: между длиной и диаметром $r = 0.91$, а между линейными показателями и объемом $r = 0.97$. Это свидетельствует о том, что все внутривидовые ооморфологические параметры, по-видимому, регулируются одними и теми же факторами. Последняя из рассчитанных характеристик – динамика изменений индекса округленности яйца заметно отличается

от изменений предыдущих показателей. Хронограмма ее имеет высокую, но отрицательную корреляцию с длиной яйца ($r = -0.53$).

Спектры ритмов многолетних изменений линейных размеров и объема яиц у полевого воробья во многом сходны (рис. 3). Здесь самая мощная примерно 7-летняя цикличность, имеются выраженные небольшие по мощности 3- и 2-летние периодические составляющие. В связи с тем что форма яйца – наиболее стабильный показатель, можно лишь предположить, что многолетние ритмы индекса округленности яиц близки по периодам к циклам величины кладки. Вероятно, цикличность морфологических параметров яиц, так же как и величины кладки, определяется совокупностью целого ряда внешних и внутривидовых факторов (например, кормовой базы, возрастного состава популяции, сроков и продолжительности сезона размножения). Важнейшим из них, по-видимому, является погодный фактор, что подтверждается и литературными данными (Pinowska et al., 2002; Barkowska et al., 2003).

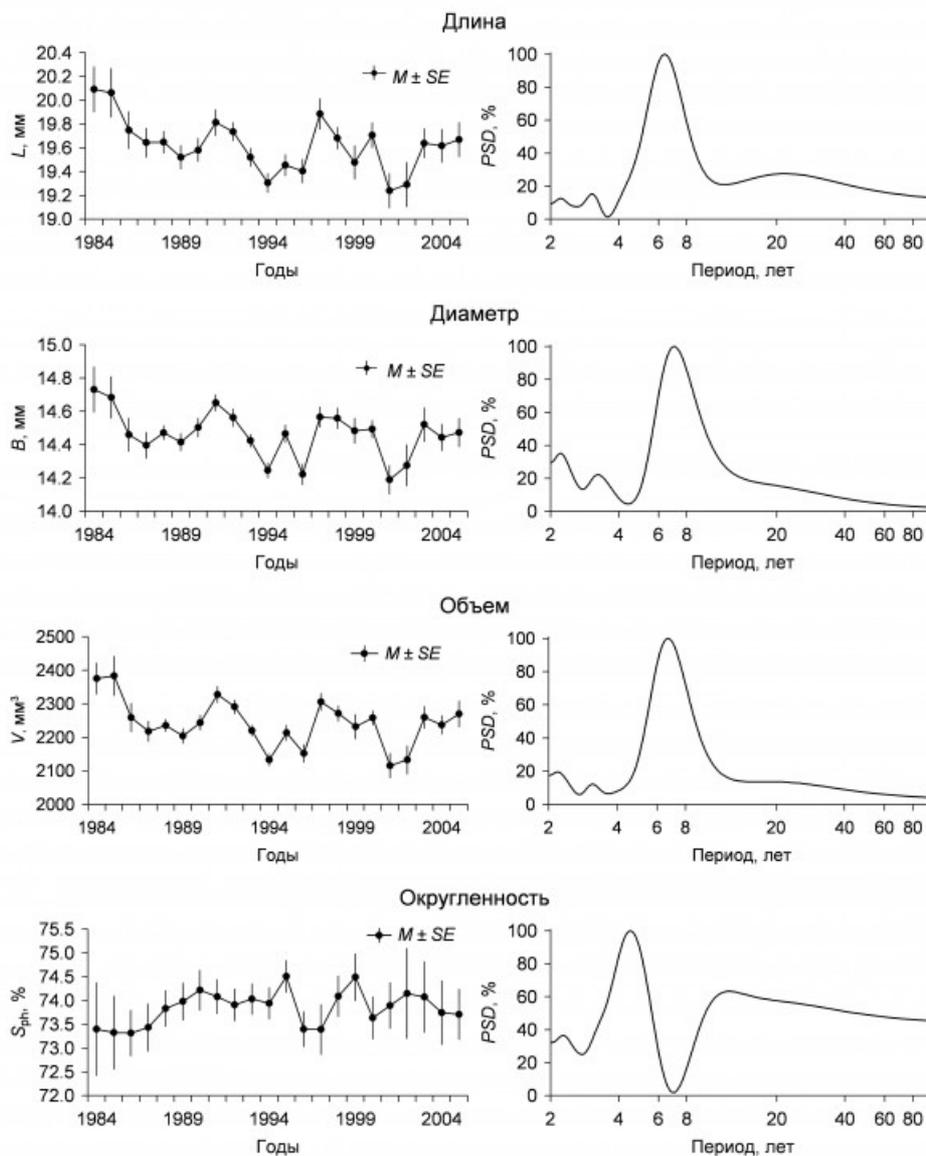


Рис. 3. Хронограммы и спектры многолетних циклов морфологических параметров яиц полевого воробья

Fig. 3. Chronograms and spectra of multi-year cycles of morphological parameters of Tree Sparrow eggs

Сравнивая фазовые характеристики ритмов исследуемых динамических

процессов, мы обнаружили интересный артефакт. Циклы величины кладки находятся в противофазе с циклами ооморфологических характеристик. То есть зависимость конфигурации яиц от величины кладки не просматривается, и в то же время при совпадении циклов этих характеристик они всегда находятся в противофазе друг к другу.

Обсуждение

Итак, многолетняя динамика величины кладки и яиц полипериодична, и можно предполагать, что эти циклы имеют приспособительное значение. Популяционные циклы имеют эндогенное происхождение, но чтобы они не стали затухающими, должна быть постоянная связь с внешним устойчивым циклом (Ердаков, 1991). Они подстраиваются к определенным природным процессам, имеющим для них значение датчиков времени. Среди таких важных для всего живого природных ритмов описан цикл колебаний магнитного поля Земли с периодом в 7 лет (Мартынюк и др., 2006). К нему могут подстраиваться все параметры, связанные с объемом яиц. Кроме того, в структуре брикнеровского цикла выделяется 7-летняя, а также 20-летняя цикличности (Таранюк, 2000), которые также могут служить синхронизаторами цикличности значений ооморфологических показателей. Мощным синхронизирующим фактором для всего живого являются георитмы Земли, среди них описаны 7–12-летние, а также 19–22-летние (Якушев, 2002). Само озеро Чаны пульсирует с периодами 10–11 лет, 20–22 года и 45 лет, заметно изменяя климатический фон (Пульсирующее озеро Чаны, 1982). Естественно, к таким пульсациям адаптированы изменения многих характеристик у видов, живущих вблизи озера.

Заключение

1. В динамике характеристик плодовитости полевого воробья имеются хорошо проявленные многолетние гармонические составляющие. Эти периодичности легко выявить, представив процессы динамики биологических характеристик на частотной шкале.
2. Циклы характеристик не проявлены в хронограммах процесса, они замаскированы в сложной кривой динамики характеристики.
3. Установление цикличности дает дополнительную биологическую информацию, если известны частотные характеристики различных популяционных изменений, а также циклы в местообитаниях рассматриваемой популяции.

Библиография

- Венгеров П. Д. Экологические закономерности изменчивости и корреляции морфологических структур птиц . Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2001. 248 с.
- Ердаков Л. Н. Биологические ритмы и принципы синхронизации в экологических системах (хроноэкология) . Томск: Изд-во ТГУ, 1991. 216 с.
- Климов С. М. Эколого-эволюционные аспекты изменчивости ооморфологических показателей птиц . Липецк: Изд-во Липецкого гос. пед. ун-та, 2003. 208 с.
- Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе . М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. 404 с.
- Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения : Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 584 с.
- Мартынюк В. С., Владимирский Б. М., Темурьянц Н. А. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т. 5. № 1. С. 5–23.
- Мянд Р. Внутрипопуляционная изменчивость птичьих яиц . Таллин: Валгус, 1988. 192 с.
- Паевский В. А. Демография птиц . Л.: Наука, 1985. 285 с.
- Пульсирующее озеро Чаны . Л.: Наука, 1982. 304 с.
- Таранюк М. И. Исследование цикличности климата и мониторинг атмосферных

процессов на территории юго-востока Западной Сибири: Дис. ... канд. геогр. наук . Томск: ТГУ, 2000. 116 с.

Чернышов В. М. Популяционная экология полевого воробья (*Passer montanus*) на юге Западной Сибири // Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций / Ред. Л. Г. Вартапетов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. (Труды Института систематики и экологии животных СО РАН. Вып. 47.) С. 197–223.

Якушев Д. И. Алгоритмы математического моделирования . СПб.: Поликом, 2002. 100 с.

Barkowska M., Pinowski J., Pinowska B. The effect of trends in ambient temperature on egg volume in the Tree Sparrow *Passer montanus* // Acta Ornithol. 2003. Vol. 38. № 1. P. 5–13.

Christians J. K. Avian egg size: variation within species and inflexibility within individuals // Biological Reviews. 2002. Vol. 77. P. 1–26.

Climate ZDVINSK. URL: <http://en.tutiempo.net/climate/ws-297120.html> (дата обращения: 27.08.2015).

Dolenec Z., Dolenec P., Møller A. P. Warmer springs, laying date and clutch size of tree sparrows *Passer montanus* in Croatia // Current Zoology. 2011. Vol. 57. Issue 3. P. 414–418.

Elton C. S. Periodic fluctuations in the numbers of animals: their causes and effects // British Journal of Experimental Biology. 1924. Vol. 2. P. 119–163.

Enemar A., Sjöstrand B., Andersson G., von Proschwitz T. The 37-year dynamics of a subalpine passerine bird community, with special emphasis on the influence of environmental temperature and *Epirrita autumnata* cycles // Ornis Svecica. 2004. Vol. 14. P. 63–106.

García-Navas V., Sanz J. J. Yearly and seasonal variation of breeding parameters in a declining multi-brooded passerine, the Tree Sparrow. // Ardea. 2012. Vol. 100. Issue 1. P. 79–88.

GNU Octave. URL: <http://www.gnu.org/software/octave/> (дата обращения: 11.12.2013).

Gromadzki M. Variability of egg-size of some species of the forest birds // Ekol. Polska A. 1966. Vol. 14. P. 99–109.

Hoyt D. F. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs // Auk. 1979. Vol. 96. № 1. P. 73–77.

Klomp H. The determination of clutch-size in birds. A review // Ardea. 1970. Vol. 58. Issue 1–2. P. 1–124.

Krist M. Egg size and offspring quality: a meta-analysis in birds // Biological Reviews. 2011. Vol. 86. P. 692–716.

Lebedeva N. V. Variability of clutch and egg sizes of the Tree Sparrow (*Passer montanus*) in South-Western Russia // Intern. Stud. Sparrows. 1999. Vol. 26. P. 48–57.

Lindström J., Ranta E., Kokko H., Lundberg P., Kaitala V. From arctic lemmings to adaptive dynamics: Charles Elton's legacy in population ecology // Biological Reviews. 2001. Vol. 76. P. 129–158.

Moss R., Watson A. Population Cycles in Birds of the Grouse Family (Tetraonidae) // Advances in Ecological Research. 2001. Vol. 32. P. 53–111.

Nyholm N. E. I. Dynamics and reproduction of a nest-box breeding population of Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in a subalpine birch forest in Swedish Lapland during a period of 46 years // Ornis Svecica. 2011. Vol. 21. P. 133–156.

Octave-Forge - Extra packages for GNU Octave. URL: <http://octave.sourceforge.net/signal/function/pwelch.html> (дата обращения: 11.12.2013).

Pinowska B., Barkowska M., Pinowski J., Bartha A., Hahm K.-H., Lebedeva N. The effect of egg size on growth and survival of the Tree Sparrow *Passer montanus* nestlings // Acta Ornithol. 2004. Vol. 39. № 2. P. 121–135.

Pinowska B., Barkowska M., Pinowski J., Hahm K.-H., Lebedeva N. Influence of temperature on Tree Sparrow *Passer montanus* egg mass according to laying sequence // Intern. Stud. Sparrows. 2002. Vol. 29. P. 33–47.

Williams J. Statistical analysis of fluctuations in red grouse bag data // Oecologia. 1985.

Vol. 65. P. 269–272.

Williams T. D. Intraspecific variation in egg size and egg composition in birds: effects on offspring fitness // 1994. Vol. 68. P. 35–59.

Благодарности

Работа поддержана программой ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. (проект № VI.51.1.6).

CYCLICITY OF LONG-TERM DYNAMICS OF REPRODUCTIVE PARAMETERS IN THE TREE SPARROW *PASSER MONTANUS*

CHERNYSHOV
Vyacheslav

Ph.D. in biology, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Frunze st., 11, Novosibirsk, 630091 Russia), chernyshov@ngs.ru

ERDAKOV
Lev

D.Sc. in biology, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Frunze st., 11, Novosibirsk, 630091 Russia), microtus@yandex.ru

Keywords: Tree Sparrow, *Passer montanus*, clutch size, egg dimensions, long-term variability, spectral analysis, cyclicity.

Reviewer:
B. Kuranov

Received on:
18 November 2016

Published on:
29 June 2017

Summary: The spectral analysis of the multi-year (1984–2005) dynamics of reproductive parameters in the population of Tree Sparrow *Passer montanus* was carried out in the vicinity of Lake Chany (Baraba forest-steppe). In this species the inter-annual dynamics cycling of the average size of clutches and eggs was revealed. The dominant clutch size cycle of the Tree Sparrow is 11 years. This species may adapt to the cycles of the air temperature dynamics similar in time during the second and third decades of May, when the most pairs begin to reproduce. Since the sparrows fledge mostly with insects, an abundance of which depends on thermal environment, such adjustment provides a higher productivity of individuals and populations in general. Less expressed 3–4-year cycles of clutch size, most likely, are caused by the intra-population reasons. The average seasonal fecundity of the Tree Sparrow depends on the ratio between the first and second clutches. The proportion of second clutches varies with the periodicity of three-year and 12-year (multiple of three). Perhaps this is due to the three-year dynamics of the age structure, as the majority of Tree Sparrow yearling are monocyclic. Rhythm spectra of long-term changes in the linear dimensions and volume of eggs of the Tree Sparrow are very similar. The most powerful cycle lasts approximately 7-year, but there are 3- and 2-year periodic components less expressed on power. Probably the of egg dimensions cycling is determined by a variety of external and intra-population factors (food supply, age distribution of the population, timing and duration of their breeding season). References Vengerov P. D. *Jekologicheskie zakonomernosti izmenchivosti i korrelyacii morfologicheskikh struktur ptic* (Ecological regularities of variability and correlation of morphological structures of birds). Voronezh: Publishing house of Voronezh state University, 2001. 248 pp. Erdakov L. N. *Biologicheskie ritmy i printsipy sinkhronizatsii v ekologicheskikh sistemakh (khronoekologiya)* (Chronoecology: Biological Rhythms and Principles of Synchronization in Biological Systems). Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 1991. 216 pp. Klimov S. M. *Jekologo-jevoljucionnye aspekty izmenchivosti oomorfologicheskikh pokazatelej ptic* (Ecologo-evolutionary aspects of the oomorphological parameters in birds). Lipetsk: Lipetsk State Pedagogical University Press, 2003. 208 pp. Lack, D. *The Natural Regulation of Animal Numbers*, Oxford, 1954. Translated under the title *Chislennost' zhivotnykh i ee regulyatsiya v prirode*, Moscow: Inostrannaya Literatura, 1957. 404 pp. Marple Jr. S. L. *Digital spectral analysis with applications*. New Jersey: Prentice Hall. 1987.

Translated under the title *Cifrovoj spektral'nyj analiz i ego prilozhenija*, Moscow: "Mir" 1990. 584 pp. Martynyuk V. S., Vladimirskij B. M. Temuryants N. A. Biologicheskie ritmy i jelektromagnitnye polja sredy obitanija (Biological rhythms and electromagnetic fields environment) // *Geophysical Processes and Biosphere*. 2006. Vol. 5. No. 1. P. 5-23. Mänd R. Vnutripopuljacionnaja izmenchivost' ptich'ih jaic (Intrapopulation variation of avian eggs). Tallin: "Valgus". 1988. 192 pp. Payevskiy V. A. Demografija ptic (Avian Demography). Leningrad: "Nauka" Press, 1985. 285 pp. Pul'siruyushchee ozero Chany (The Pulsating Lake Chany), Leningrad: "Nauka" Press, 1982. 304 pp. Taranyuk M. I. Issledovanie ciklichnosti klimata i monitoring atmosferynh processov na territorii jugo-vostoka Zapadnoj Sibiri (Analysis of climate cyclicity and monitoring of atmospheric processes in the southeast of Western Siberia), Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation, Tomsk: Publishing house of Tomsk state University, 2000. 116 pp. Chernyshov V. M. Population ecology of the Tree Sparrow (*Passer montanus*) in the South of Western Siberia // *Birds of Siberia: fauna, communities and populations structure and dynamics* / Ed. L. G. Vartapetov. - Moscow: KMK Scientific Press Ltd, 2011. (Proceedings of the Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, vol. 47). P. 197-223. Yakushev D. I. Algoritmy matematicheskogo modelirovaniya (Algorithms of Mathematical Modeling), St. Petersburg: Polikom, 2002. 100 pp. Barkowska M., Pinowski J., Pinowska B. The effect of trends in ambient temperature on egg volume in the Tree Sparrow *Passer montanus* // *Acta Ornithol.* 2003. Vol. 38. No. 1. P. 5-13. Christians J. K. Avian egg size: variation within species and inflexibility within individuals // *Biological Reviews*. 2002. Vol. 77. P. 1-26. Climate ZDVINSK: <http://en.tutiempo.net/climate/ws-297120.html> (date of access - 27.08.2015). Dolenec Z., Dolenec P., Møller A. P. Warmer springs, laying date and clutch size of tree sparrows *Passer montanus* in Croatia // *Current Zoology*. 2011. Vol. 57. Issue 3. P. 414-418. Elton C. S. Periodic fluctuations in the numbers of animals: their causes and effects. // *British Journal of Experimental Biology*. 1924. Vol. 2. P. 119-163. Enemar A, Sjöstrand B., Andersson G., von Proschwitz T. The 37-year dynamics of a subalpine passerine bird community, with special emphasis on the influence of environmental temperature and *Epirrita autumnata* cycles // *Ornis Svecica*. 2004. Vol. 14. P. 63-106. García-Navas V., Sanz J. J. Yearly and seasonal variation of breeding parameters in a declining multi-brooded passerine, the Tree Sparrow. // *Ardea*. 2012. Vol. 100. Issue 1. P. 79-88. GNU Octave. <http://www.gnu.org/software/octave/> (дата обращения: 11.12.2013). Gromadzki M. Variability of egg-size of some species of the forest birds // *Ekol. Polska* A. 1966. Vol. 14. P. 99-109. Hoyt D. F. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs // *Auk*. 1979. Vol. 96, No. 1. P. 73-77. Klomp H. The determination of clutch-size in birds. A review. // *Ardea*. 1970. Vol. 58. Issue 1-2. P. 1-124. Krist M. Egg size and offspring quality: a meta-analysis in birds // *Biological Reviews*. 2011. Vol. 86. P. 692-716. Lebedeva N. V. Variability of clutch and egg sizes of the Tree Sparrow (*Passer montanus*) in South-Western Russia // *Intern. Stud. Sparrows*. 1999. Vol. 26. P. 48-57. Lindström, J., Ranta, E., Kokko, H. Lundberg, P., Kaitala, V. From arctic lemmings to adaptive dynamics: Charles Elton's legacy in population ecology. // *Biological Reviews*. 2001. Vol. 76. P. 129-158. Moss R., Watson A. Population Cycles in Birds of the Grouse Family (Tetraonidae). // *Advances in*

CYCLES IN BIRDS OF THE GROUSE FAMILY (TETRAONIDAE). // *Advances in Ecological Research*. 2001. Vol. 32. P. 53–111. Nyholm N. E. I. Dynamics and reproduction of a nest-box breeding population of Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in a subalpine birch forest in Swedish Lapland during a period of 46 years. // *Ornis Svecica*. 2011. Vol. 21. P. 133–156. Octave-Forge - Extra packages for GNU Octave <http://octave.sourceforge.net/signal/function/pwelch.html> (дата обращения: 11.12.2013). Pinowska B., Barkowska M., Pinowski J., Bartha A., Hahn K-H, Lebedeva N. The effect of egg size on growth and survival of the Tree Sparrow *Passer montanus* nestlings // *Acta Ornithol.* 2004. Vol. 39. No. 2. P. 121–135. Pinowska B., Barkowska M., Pinowski J., Hahn K-H, Lebedeva N. Influence of temperature on Tree Sparrow *Passer montanus* egg mass according to laying sequence // *Intern. Stud. Sparrows*. 2002. Vol. 29. P. 33–47. Williams J. Statistical analysis of fluctuations in red grouse bag data // *Oecologia*. 1985. Vol. 65. P. 269–272. Williams T. D. Intraspecific variation in egg size and egg composition in birds: effects on offspring fitness // 1994. Vol. 68. P. 35–59.



НОВЫЙ АТЛАС

АНТИПИНА
Галина
Станиславовна

*д. б. н., ПетрГУ (Петрозаводск, пр. Ленина, 33),
antipina@petsu.ru*

Получена:

03 апреля 2017 года

Подписана к печати:

05 апреля 2017 года

В издательстве ПетрГУ вышла в свет книга, которая является результатом многолетнего исследования растений и лишайников экосистем побережья арктических морей России, – «Растения и лишайники Мурманского побережья Баренцева моря» (2016).

Атлас подготовлен коллективом авторов – преподавателями кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета Петрозаводского государственного университета и сотрудниками Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН. Подобное издание для побережий голарктических морей подготовлено впервые в России. Издание атласа осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Интерес экологов к экотонным прибрежным территориям Северного Ледовитого океана, которые находятся на стыке двух сред – моря и суши, вполне закономерен. Именно на этих территориях отмечается и основное сосредоточение жизни человека в Арктике. Прибрежные арктические экосистемы играют буферную роль, и их структурно-функциональная целостность важна для целей биоиндикации. Изменение состава их фототрофного компонента может привести к непрогнозируемым нарушениям всего природного комплекса и снижению биоразнообразия.

Исследование выполнено на побережье Баренцева моря в районе Биологической станции поселка Дальние Зеленцы (Мурманская область), в книге приведена краткая характеристика географических условий района. Авторами выполнено комплексное исследование биологии и экологии автотрофных организмов – низших растений (макроскопических водорослей), сосудистых растений и лишайников. Каждая из этих групп играет большую роль в функционировании приморских экосистем арктических морей России.

В главе «Водоросли» дан общий анализ видового состава морских макроскопических водорослей как основных первичных продуцентов прибрежной зоны. Авторы приводят эколого-биологическую характеристику 76 видов-макрофитов – зеленых, бурых и красных водорослей, доминирующих в литорали и сублиторали. Описание видов сопровождается оригинальными фотографиями талломов водорослей.

Глава «Сосудистые растения» включает общую характеристику флоры сосудистых растений побережья, анализ экологических групп и жизненных форм приморских растений. Сосудистые растения – группа, неоднородная по систематическому положению, экологии, жизненным формам. Приморская растительность исследованного побережья не формирует сплошного растительного покрова, а встречается спорадически. В атласе приведена эколого-биологическая характеристика 42 основных видов сосудистых растений приливно-отливной зоны района исследования (1 вида хвощей и 41 вида покрытосеменных растений).

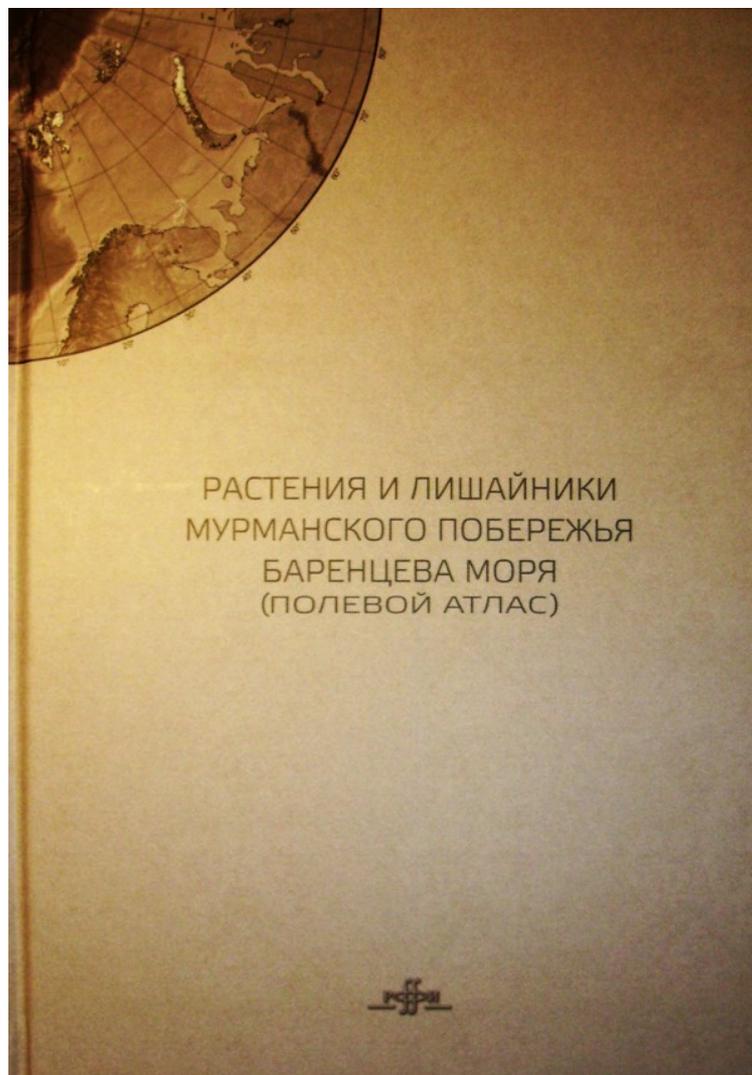
Глава «Лишайники» содержит общую характеристику видового состава

лишайников побережья, их распространения и значения в прибрежных экосистемах. Приведена эколого-биологическая характеристика 29 типичных для морского побережья видов лишайников – их морфологии, экологии, распространения.

Представленный в атласе глоссарий включает основные экологические понятия, связанные с экосистемами морского побережья и характеристикой прибрежных экотопов («берег», «приливно-отливные явления», «побережье», «эстуарий» и другие), и основные термины по морфологии и экологии водорослей, сосудистых растений, лишайников.

В атласе помещены оригинальные цветные фотографии каждого вида, отдельных частей растений и лишайников, типичных экотопов, к которым приурочено распространение видов. Надо отметить высокое качество книги – хорошую бумагу, удобный формат, цветные иллюстрации. Издание иллюстрированного атласа позволяет частично восполнить большую потребность в справочной научной литературе, что особенно важно при отсутствии современного определителя растений Карелии и Мурманской области.

Атлас рекомендуется для специалистов – экологов, биологов, для студентов, школьников, учителей и любителей природы.



Библиография

Растения и лишайники Мурманского побережья Баренцева моря : полевой атлас / Е. Ф. Марковская, С. В. Малавенда, И. В. Рыжик, Л. А. Сергиенко, А. В. Сони́на, А. А. Стародубцева, Г. М. Воскобойников. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2016. 191 с.

NEW ATLAS

ANTIPINA

Galina

Stanislavovna

DSc, PetrSU (Petrozavodsk, Lenin st., 33), antipina@petsu.ru

Received on:

03 April 2017

Published on:

05 April 2017