

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

16+

ВЫПУСК

52

2020

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский

ISSN 2079-0333

ВЕСТНИК Камчатского государственного технического университета



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

Bulletin of Kamchatka State Technical University

**Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ).
Информация о включении журнала представлена на официальном сайте ВАК
(<http://vak.ed.gov.ru>)**

**Journal is included in List of peer-reviewed publications (State Commission
for Academic Degrees and Titles of the Russian Federation).
Information on including is available on the official website of State Commission
for Academic Degrees and Titles (<http://vak.ed.gov.ru>)**

**Журнал размещается
в Научной электронной библиотеке (договор № 22-02/2011 R от 01.02.2011),
в международной информационной системе по водным наукам и рыболовству ASFIS
(Aquatic Sciences and Fisheries Information System) (соглашение от 17.05.2011)**

**Journal is sited in Scientific electronic library (contract № 22-02/2011 R of 01.02.2011),
in Aquatic Sciences and Fisheries International Information System ASFIS
(agreement of 17.05.2011)**

ВЫПУСК

52

2020

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Клочкова Т.А. (главный редактор)	доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), проректор по научной работе и международной деятельности Камчатского государственного технического университета
Царенко С.Н. (научный редактор, технический раздел)	кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологических машин и оборудования Камчатского государственного технического университета
Ольхина О.В. (ответственный секретарь)	заведующий издательством Камчатского государственного технического университета
Белавина О.А. (технический секретарь)	кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
Богданов В.Д.	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
Голохваст К.С.	доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, заместитель директора по научно-организационной работе ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова»
Йотсукура Н.	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, директор Морской станции Ошоро, научно-исследовательский центр по изучению северной биосферы Университета Хоккайдо (Япония)
Кадникова И.А.	доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории безопасности и качества морского растительного сырья Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
Каленик Т.К.	доктор медицинских наук, профессор, профессор Департамента пищевых наук и технологий Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета
Карпенко В.И.	доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Ким Г.Х.	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, заведующий лабораторией альгологии Национального университета Конджу (Республика Корея)
Клочкова Н.Г.	доктор биологических наук, научный сотрудник Камчатского государственного технического университета
Лобков Е.Г.	доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Мандрикова О.В.	доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией системного анализа Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
Потапов В.В.	доктор технических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук
Приходько Ю.В.	доктор технических наук, профессор, директор департамента пищевых наук и технологий Дальневосточного федерального университета
Седова Н.А.	доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биологических ресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Сенкевич Ю.И.	доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории акустических исследований Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
Усов А.И.	доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории химии углеводов Института органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН
Швецов В.А.	доктор химических наук, доцент, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета

EDITORIAL BOARD

Klochko T.A. (Editor-in-Chief)	Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Vice-rector for Scientific Work and International Communications, Kamchatka State Technical University
Tzarenko S.N. (Scientific Editor, technical sciences)	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Machines and Equipment Chair, Kamchatka State Technical University
Olkhina O.V. (Executive Secretary)	Head of Publishing House, Kamchatka State Technical University
Belavina O.A. (Technical Secretary)	Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department, Kamchatka State Technical University
Bogdanov V.D.	Doctor of Technical Sciences, Professor of Food Technology Chair, Far Eastern State Technical Fisheries University
Golokhvast K.S.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Deputy Director for Scientific and Organizational Work of the Federal Research Center "N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources"
Yotsukura N.	Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Director of Oshoro Marine Station, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University (Japan)
Kadnikova I.A.	Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of Seaweed Raw Material Safety and Quality Laboratory, Pacific Scientific Research Fisheries Center
Kalenik T.K.	Doctor of Medical Sciences, Professor of Food Science and Technology Department, School of Biomedicine of Far Eastern Federal University
Karpenko V.I.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
Kim G.H.	Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Head of Phycology Laboratory, Kongju National University (South Korea)
Klochko N.G.	Doctor of Biological Sciences, Scientific Researcher of Kamchatka State Technical University
Lobkov E.G.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
Mandrikova O.V.	Doctor of Technical Sciences, Head of System Analysis Laboratory, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS
Potapov V.V.	Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Research Department, Research Geotechnological Center FEB RAS
Prikhodko Y.V.	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Science and Technology Department, Far Eastern Federal University
Sedova N.A.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
Senkevich Y.I.	Doctor of Technical Sciences, Docent, Leading Researcher of Acoustic Researches Laboratory, Institute of Cosmophysical Research and Radio Waves Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Usov A.I.	Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of Carbohydrate Chemistry Laboratory, N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of Russian Academy of Sciences
Shvetsov V.A.	Doctor of Chemical Sciences, Docent, Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair, Kamchatka State Technical University

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Рыбак В.А., Рябычина О.П.

Аппаратно-программный комплекс для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и выбора оптимального маршрута движения6

Труднев С.Ю.

Компьютерное моделирование полупроводниковых преобразователей18

Клочкова Т.А., Салтанова Н.С.

Деструкция тканей бурой водоросли *Saccharina bongardiana* в процессе термощелочной обработки при получении биогеля27

Святченко А.В., Сапронова Ж.А., Свергузова С.В.,

Порожнюк Е.В., Лупандина Н.С.

Определение оптимальных параметров модификации целлюлозосодержащего сорбционного материала (листового каштанового опада)40

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Авдощенко В.Г., Климова А.В.

Содержание тяжелых металлов в почвах Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг.50

Зудина С.М., Овчеренко Р.Т.

Определение возраста и продолжительности жизни массовых видов морских окуней рода *Sebastes* в тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов64

Минеев А.К.

Гистопатология внутренних органов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) из водоемов Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища74

Правила направления, рецензирования и опубликования рукописей статей86

Правила оформления рукописей статей89

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Rybak V.A., Ryabichina O.P.	
Hardware-software complex for monitoring atmospheric air pollution and selecting optimal movement route	6
Trudnev S.Yu.	
Computer modeling of semiconductor converters	18
Klochko T.A., Saltanova N.S.	
Tissue destruction in the brown alga, <i>Saccharina bongardiana</i> , during the process of thermal-alkalin treatment when producing biogel	27
Svyatchenko A.V., Sapronova Zh.A., Sverguzova S.V., Porozhnyuk E.V., Lypandina N.S.	
Determination of optimal parameters for the modification of cellulose-containing sorption material (chestnut leaf litter)	40

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Avdoshchenko V.G., Klimova A.V.	
Contents of heavy metals in the soils of Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka territory) in 2017–2018	50
Zudina S.M., Ovcherenko R.T.	
Features of determining the age and life expectancy of mass sea perch <i>Sebastes</i> sp. species in the pacific waters of Kamchatka and northern Kuril islands	64
Mineev A.K.	
Histopathology of the internal organs in the lake frog <i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771) from reservoirs of Koltsovo-Mordovin floodplain of Saratov reservoir	74
Regulations for manuscripts direction, reviewing and publication	86
Manuscripts guidelines	89

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ

Рыбак В.А., Рябычина О.П.

Белорусская государственная академия связи, Республика Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 14.

В статье обоснована актуальность создания заявленной системы и показано, что имеющимися в настоящее время средствами невозможно получать оперативные данные о степени загрязнения атмосферного воздуха, хотя данная информация является важной для населения крупных городов и промышленных центров. Изложены результаты создания и использования автоматизированной системы для мониторинга атмосферного воздуха с использованием моделирования переноса загрязняющих веществ. В основу системы лег аппаратно-программный комплекс, состоящий из микрокомпьютера, датчиков загрязнения, модуля беспроводной связи и беспилотного летательного аппарата. Получаемые в режиме реального времени показатели загрязненности обрабатываются с целью построения актуальных карт, в том числе для предоставления возможности выбора оптимального маршрута следования с учетом неблагоприятного воздействия загрязнения. Разработанное мобильное приложение предоставляет возможность конечному пользователю получать информацию on-line и строить прогнозы, основанные на данных о скорости ветра и его направлении в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, карты загрязненности, мониторинг атмосферного воздуха, прогнозирование переноса загрязняющих веществ.

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR MONITORING ATMOSPHERIC AIR POLLUTION AND SELECTING OPTIMAL MOVEMENT ROUTE

Rybak V.A., Ryabichina O.P.

Belarusian State Academy of Communications, Belarus, Minsk, P. Brovka Str. 14

The article substantiates the urgency of creating the declared system and shows that it is impossible to obtain fast data on the degree of atmospheric air pollution using currently available methods, although this information is important for population of large cities and industrial centers. We present results on the development and use of an automated system for monitoring the atmospheric air using models of the pollutants transport. The system is based on hardware and software complex consisting of microcomputer, pollution sensors, wireless communication module and unmanned aerial vehicle. The pollution indicators obtained in real time are processed in order to build up-to-date maps, including providing an opportunity to choose the optimal route taking into account the adverse effects of pollution. The developed mobile application enables users to receive information on-line and make forecasts based on data on wind speed and direction in short and medium terms.

Key words: hardware and software complex, pollution maps, atmospheric air monitoring, forecasting the transfer of pollutants.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с глобальными климатическими изменениями научный интерес к проблеме охраны окружающей среды ежегодно возрастает. Неблагоприятное антропогенное воздействие на природные среды происходит как в развитых, так и в развивающихся странах, что также отражается на здоровье населения. Загрязнение атмосферного воздуха может являться причиной повышения уровня заболеваемости органов дыхания, кровеносной, пищеварительной и нервной систем.

Существующие системы мониторинга призваны следить за состоянием окружающей среды и отслеживать динамику ее изменений. Вместе с тем на сегодняшний день в России и Республике Беларусь не собирается оперативная информация об уровне загрязнения воздуха в режиме реального времени. Существующие станции работают, как правило, в пакетном режиме и производят сбор данных 1–4 раза в сутки [Степанченко, 2015; Рыбак, Рябычина, 2018].

Международные проекты и организации также осуществляют мониторинг и контроль уровня загрязненности атмосферного воздуха, но делают это, либо опираясь на национальные данные, либо на субъективные опросы. Например, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) собирает данные о качестве воздуха по всему миру. На веб-сайте ВОЗ «Global ambient air pollution» представлена визуализация базы данных значений качества воздуха за 2014, 2016 и 2018 гг., включающая в себя данные из >4 300 городов в 108 странах, и их число постоянно увеличивается [Правкина, 2006; Рыбак, Рябычина, 2018]. Особенностью данного сайта является цветовая дифференциация территорий по уровню загрязнения, а также воз-

можность оценить влияние конкретных городов на качество воздуха окружающих территорий.

В настоящее время во многих странах существуют как государственные службы, так и частные проекты, связанные с анализом качества воздуха. Однако доступность этих данных для граждан страны, а также за ее пределами чаще всего мала. В мире существует небольшое количество информационных систем экологического мониторинга, позволяющих увидеть картину качества воздуха глобально, и еще меньшее из них имеет постоянно обновляемые данные.

По сравнению с развивающимися странами, в развитых странах значительно большее количество организаций предоставляют данные о загрязнении. Например, в Европе данные ВОЗ собираются с тысяч точек, в то время как в других странах сбор данных ограничивается единичными территориями. Стоит также отметить, что в определенных странах локальные организации здравоохранения имеют собственные данные, однако их предоставление широкой общественности ограничено.

Согласно Орхусской конвенции, гражданам стран-участниц имеют право на благоприятную окружающую среду для здоровья и благосостояния, доступ к информации, участие общественности в процессе принятия решений и доступ к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды. Так, граждане Республики Беларусь вправе запросить у государственных органов информацию, например, о содержании загрязняющих веществ в воздухе рядом с местом проживания [Фетисова, 2011].

Однако существуют научно-техническая и правовая проблемы предоставления информации по загрязнению воздуха. Так, государство должно предоставлять населению актуальную экологическую информацию, однако соответствующих технических

решений, позволяющих делать это в режиме реального времени, не существует.

Целью нашей работы является разработка и апробирование аппаратно-программной системы для экологического мониторинга атмосферного воздуха в режиме реального времени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки аппаратно-программного комплекса мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и выбора оптимального маршрута движения нами был выполнен анализ существующих систем мониторинга, географических информационных систем (ГИС), станций и датчиков для измерения уровня концентраций загрязняющих веществ [Попова, 2016; Рыбак, Рябычина, 2018]. Полученные при расчетах данные и их обсуждение приводятся ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Существует большое количество решений для разработки электронных устройств, представленных как моделями известных производителей, так и малоизвестных, преимущественно разработанных китайскими компаниями. Сравнение

основных характеристик наиболее известных и популярных микрокомпьютеров представлено в таблице 1.

Нами было предложено выполнить построение прибора на основе микрокомпьютера, например ArduinoNano, с подключением к нему датчиков и дополнительных модулей. При выборе платформы для разработки аппаратной части основными факторами, помимо стоимости платы, ее комплектации и удобства разработки, служат функциональность и эффективность. Последние характеристики обусловлены, в том числе, возможностью установки на ArduinoNano современных операционных систем, включая Windows и Linux.

Для определения загрязняющих факторов воздуха можно подключить необходимые датчики. Первоначально для тестирования подключены датчики MQ135 (концентрация углекислого газа), MQ9 (концентрация газа пропан-бутан, концентрация метана в воздухе, концентрация угарного газа).

Для преобразования данных в систему исчисления предельно допустимых концентраций (ПДК в мг/м^3) необходимо измерить атмосферное давление и температуру окружающего воздуха, с этой целью используется датчик BM180.

Таблица 1. Сравнение основных характеристик микрокомпьютеров

Table 1. Comparison of the main features of microcomputers

	Arduino Nano	RaspberryPi 4	PandaBoard	IntelGenuino 101
Стоимость	\$12	\$35–55	\$200	\$40
Операционная система	Нет	Debian, Ubuntu, Fedora	Linux, Android	Real-Time Operating System
Процессор	Atmel ATmega328P	ARM Cortex-A72	ARM Cortex-A9	IntelCurie
Количество ядер	–	4	2	1
Порты/разъемы	USB	USB, Bluetooth, HDMI, Ethernet, Wi-Fi	USB, HDMI, Ethernet, Wi-Fi	USB, Bluetooth, Wi-Fi
Оперативная память	2 Кб	1–4 Гб	1 Гб	2 Гб

Также установлен датчик DHT11 для отображения влажности воздуха, датчик PPD42 для измерения концентрации пыли и четырехдиапазонный GSM/GPRS модуль Shield, A6 для передачи данных по сети. Для отслеживания местоположения и отображения данных на карте использован GPS приемник GY-NEO6MV2. Устройство автономно, питание поступает от перезаряжаемой батареи емкостью 5 000 мАч [Лазарева, 2016]. Макетная схема подключения всех датчиков к микроконтроллеру ArduinoNano показана на рисунке 1.

Программная часть комплекса для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха выполнена в виде веб-приложения по

технологии PWA для доступа к данным и оповещениям, серверного приложения с интерфейсами, построенными на REST API, а также административной панели для управления устройствами с системой аутентификации и авторизации. Графическое отображение работы аппаратно-программного комплекса представлено на рисунке 2. Использование предложенного прибора допускается как стационарно, с установкой в одном месте, так и мобильно, при помощи беспилотных летательных аппаратов, например дрона. В последнем случае получается передвижной комплекс, позволяющий оперативно получать данные в режиме реального времени.

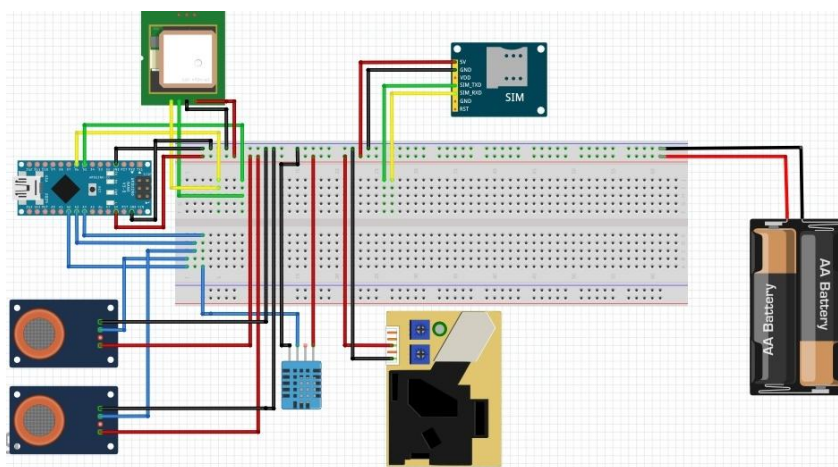


Рис. 1. Макетная схема подключения датчиков к микроконтроллеру

Fig. 1. Layout of connecting sensors to the microcontroller

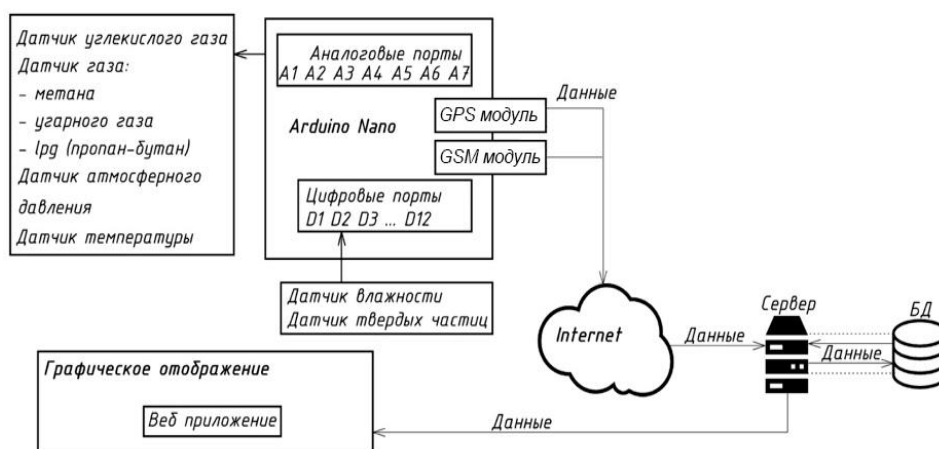


Рис. 2. Графическое изображение работы аппаратно-программного комплекса

Fig. 2. Graphic display of the hardware-software complex

Мы протестировали датчики в статическом режиме. Для этого устройство было зарегистрировано по определенным координатам. Так как имеющиеся данные с пунктов мониторинга являются эталонными, было необходимо установить устройство в той же точке и перевести его в статический режим. Данные снимались в течение двух часов для каждого пункта мониторинга. Часть результатов представлена в таблице 2.

Получаемая информация об уровне загрязнения атмосферного воздуха важна в том числе для выбора оптимального маршрута движения людей. Очевидно, что кратчайший путь не всегда будет наиболее безопасным с точки зрения неблагоприятного воздействия, поэтому представляет научный и практический интерес создание инструмента для поиска оптимального пути. С учетом того, что степень влияния загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на здоровье населения зависит как от их концентрации, так и от влажности и температуры, был предложен новый интегральный показатель [Рыбак, 2008]:

$$S = \frac{1}{i} \left(k_{1t} T k_{1v} V \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + k_{2t} T k_{2v} V \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + k_{it} T k_{iv} V \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right), \quad (1)$$

где i – число учитываемых загрязнителей;

k_{1t}, k_{2t}, k_{it} – коэффициенты, учитывающие изменение действия веществ при изменении температуры;

k_{1v}, k_{2v}, k_{iv} – коэффициенты, учитывающие изменение действия веществ при изменении влажности воздуха;

C_1, C_2, C_i – разовая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе в определенный момент времени;

T – температура, в градусах Цельсия;

V – влажность, в г/м³;

$\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \text{ПДК}_i$ – максимальная разовая ПДК загрязняющего вещества в атмосферном воздухе.

При нормальном атмосферном давлении, абсолютной влажности 20 г/м³ и температуре 24°C значения интегрального показателя для тестовых примеров, использующих пять датчиков загрязнения, на оживленных перекрестках находились в диапазоне 528–672, а для парковых зон 144–288. Получаемые от стационарных и мобильных датчиков данные для формулы (1) методом линейной интерполяции (учитываются восемь соседних точек) наносятся на карту, в результате чего пользователь имеет представление о степени неблагоприятности различных участков для выбора маршрута движения (рис. 3).

Таблица 2. Показания, полученные при помощи разработанного устройства в определенной точке (г. Минск, ул. Тимирязева за 08.06.2019 в 13:40 pm)

Table 2. Results of monitoring, obtained using our developed device in a certain locality in Minsk city (Minsk, Timiryazev street, on 08.06.2019 at 13:40 pm)

Сравниваемые параметры	Датчики	
	Пункт мониторинга	Устройство
Температура	33,6 (°C)	34 (°C)
Давление	990,8 (гПа)	987 (гПа)
Влажность	100%	97%
Углекислый газ	–	0,3 (ПДК)
Пропан-бутан	–	0,01 (ПДК)
Монооксид углерода	–	0,05 (ПДК)
Метан	–	0,05 (ПДК)

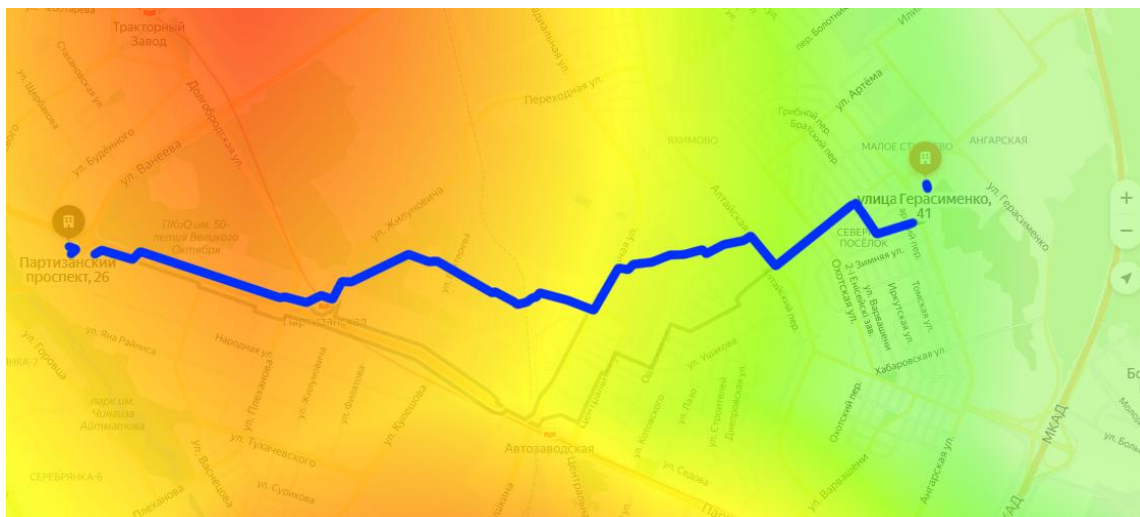


Рис. 3. Маршрут 1 на карте загрязненности воздуха (г. Минск)

Fig. 3. Route 1 on the map of air pollution (Minsk city)

В нашем случае алгоритм Дейкстры для поиска оптимального маршрута подвержен модификациям, так как эталонный вариант не может построить путь, а может только лишь найти минимальную стоимость маршрутов в графе от одной точки до всех остальных. Программа же, помимо того, что должна строить оптимальный маршрут по контрольным точкам пути, должна учитывать координаты датчиков и уровни загрязнения.

Алгоритм просчитывает расстояние между точками и умножает на коэффициент, который зависит от загрязненности. Таким образом, датчики, которые стоят рядом, но обладают бóльшим уровнем загрязнения, будут огибаться при построении маршрута, так как в построенном графе будут иметь достаточно большую стоимость прохождения [Рыбак, 2009; Локощенко и др., 2014].

Суть модификации алгоритма заключается в том, что мы нагружаем граф весами, рассчитанными по формуле (1), находим все доступные маршруты в реалиях города и после этого предъявляем их алгоритму для нахождения наиболее безопасного. Алгоритм поиска оптимального пути

с учетом уровня загрязнения воздуха представлен на рисунке 4.

В начале работы просматриваются узлы, смежные с начальным, выбирается тот из них, который имеет минимальное значение $f(x)$, после чего этот узел раскрывается. На каждом этапе алгоритм оперирует множеством путей из начальной точки до всех еще не раскрытых вершин графа, которые размещаются в очереди с приоритетом. Приоритет пути определяется по наименьшему значению $f(x) = k(x) + n(x)$. Алгоритм продолжает свою работу до тех пор, пока значение $f(x)$ целевой вершины не окажется меньшим, чем любое значение в очереди, либо пока все дерево не будет просмотрено. Из множества решений выбирается решение с наименьшей стоимостью. Безопасность альтернативных маршрутов, найденных на предыдущем этапе, оценивается следующим образом. Для каждого перемещения между контрольными точками фиксируют метрику/загрязненность, рассчитанную по формуле (1). Учитывают уровень загрязненности в конкретной точке маршрута, который рассчитывается по интегральному показателю загрязненности атмосферного воздуха, расстояние. Результаты исследований представлены в таблице 3.

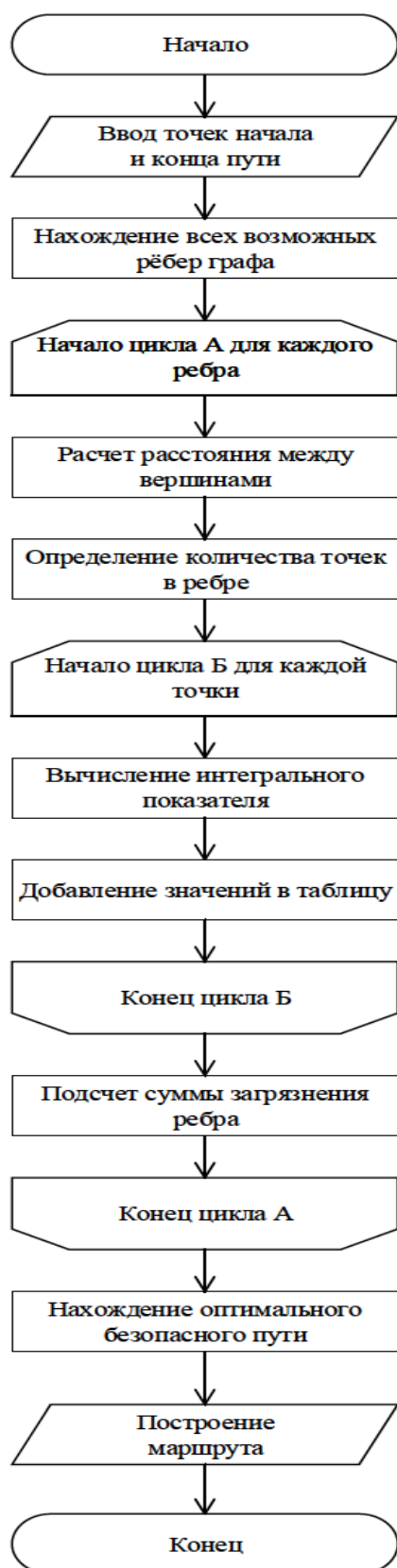


Рис. 4. Алгоритм поиска оптимального пути с учетом уровня загрязнения воздуха

Fig. 4. Algorithm for finding the optimal route taking air pollution into account

Как видно из таблицы 3, уровень загрязнения на маршруте 1 является оптимальным, безопасным, а самым опасным по уровню загрязнения является маршрут 3. Два других маршрута – 2 и 4 – имеют примерно равный уровень загрязнения на пути следования.

Вместе с тем следует учитывать также время, проведенное в загрязненной зоне. Так, при скорости движения велосипедиста, равной 13 км/ч, он быстрее проедет данный маршрут, значит получит меньше вреда для организма и здоровья, нежели пешеход, который движется со скоростью 5 км/ч. Оценку на определенном участке маршрута можно выразить формулой (2):

$$O = \sum A[i, j] \cdot \frac{t_n}{60}, \quad (2)$$

где O – оценка маршрута;

$A[i, j]$ – загрязненность отрезка маршрута, оцениваемая по формуле (1);

t_n – время, проведенное на отрезке маршрута (мин).

Оценка оптимальности выбранных маршрутов с учетом времени нахождения на пути представлена в таблицах 4 и 5. Следует отметить, что при оценке маршрута важно учитывать расстояние, время нахождения в зоне загрязнения и уровень загрязнения, который получит человек, двигаясь между контрольными точками. Как видно из таблиц 4 и 5, пешеход находится на каждом отрезке маршрута большее количество времени, т. е. получает большее воздействие на здоровье, чем велосипедист.

Таким образом, разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет осуществлять мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, строить карты загрязненности и по запросу пользователя находить оптимальный маршрут движения с точки зрения неблагоприятного воздействия на здоровье. Критерием оптимальности в дан-

ном случае служит минимум произведения времени нахождения человека в определенной зоне на уровень загрязнения атмосферного воздуха, рассчитанный по формуле (1).

Ниже мы приводим примерную оценку социально-экономического эффекта от использования предложенного нами решения. Известно, что все эффекты от реализации разработанной системы можно разделить на прямые и косвенные [Нагаева, 2016]. Прямые эффекты порождаются непосредственно самой системой без учета межотраслевых взаимосвязей. Косвенные эффекты возникают в результате влияния разработанной системы на здоровье населения и улучшения экологической ситуации на исследуемой территории. Прямые эффекты рассчитываются по известным в экономике

методам, а оценка косвенных выгод очень часто представляет сложную научную задачу, поэтому в своей работе мы уделили особое место именно последним.

В рамках расчета социально-экономического эффекта были проведены дополнительные исследования, которые позволили оценить, что в среднем житель г. Минска в день проходит 6 650 шагов вне закрытых помещений. При этом путь между пунктами старта движения и назначения, как правило, выбирается с учетом минимальной протяженности. Вместе с тем расчет усредненного оптимального пути с учетом неблагоприятного воздействия загрязнения воздуха на здоровье населения показал возможность снижения «нагрузки» на 12,3%.

Таблица 3. Оценка стоимости альтернативных маршрутов

Table 3. Assessment of cost for alternative routes

Маршрут	Расстояние (км)	Уровень загрязненности, без учета времени прохождения
Маршрут 1	6,2	3 987
Маршрут 2	6,7	4 847
Маршрут 3	7,1	7 481
Маршрут 4	7,8	4 828

Таблица 4. Оценка стоимости альтернативных маршрутов движения велосипедиста с учетом времени

Table 4. Assessment of cost for alternative routes for bicycles based on actual time used for movement

Маршрут	Расстояние (км)	Время, затраченное велосипедистом (мин)	Уровень загрязненности, с учетом времени прохождения
Маршрут 1	6,2	27	11 123
Маршрут 2	6,7	30	16 238
Маршрут 3	7,1	32	28 328
Маршрут 4	7,8	36	22 595

Таблица 5. Оценка стоимости альтернативных маршрутов движения пешехода с учетом времени

Table 5. Assessment of cost for alternative routes for pedestrians based on actual time used for movement

Маршрут	Расстояние (км)	Время, затраченное пешеходом (мин)	Уровень загрязненности, с учетом времени прохождения
Маршрут 1	6,2	68	28 015
Маршрут 2	6,7	80	43 300
Маршрут 3	7,1	85	75 246
Маршрут 4	7,8	94	58 998

Укрупненная оценка результата R может осуществляться по формуле [Рыбак, 2010]:

$$R = R_{с.в.} + R_{с.д.} + R_{з.в.} + R_{з.д.}, \quad (3)$$

где $R_{с.в.}$, $R_{с.д.}$ – эффекты от сокращения выплат по больничным листам из-за загрязнения окружающей среды для взрослых по причине собственной нетрудоспособности и уходом за детьми соответственно;

$R_{з.в.}$, $R_{з.д.}$ – эффекты от сокращения затрат на лечение взрослых и детей.

Используя данные Министерства здравоохранения в Республике Беларусь, мы провели эмпирическую оценку слагаемых формулы (3) [Рыбак, 2010]:

$$R = c_1 N_{вз} k + c_2 n c_3 d k + c_1 N_{ст.в} f + c_2 N_{ст.д} f, \quad (4)$$

где c_1 – коэффициент, отражающий влияние факторов среды на здоровье взрослого населения;

$N_{вз}$ – суммарная продолжительность нетрудоспособности согласно больничным листам в год (дней);

k – величина средней заработной платы за один день в г. Минске, руб.;

c_2 – величина снижения уровня детской заболеваемости в результате выбора оптимального маршрута, случаи на 10 000 чел.;

n – количество детей на исследуемой территории, тыс. чел.;

c_3 – коэффициент, отражающий соотношение количества детей, для ухода за которыми при их заболевании взрослым выдается больничный лист к общему числу случаев детской заболеваемости;

d – средняя продолжительность заболеваемости детей, дни;

$N_{ст.в}$ – объем оказания медицинской помощи взрослым в стационарах, койко-дней на 10 000 чел.;

f – средняя стоимость одного дня стационарного лечения, руб. в день;

$N_{ст.д}$ – объем оказания медицинской помощи детям в стационарах, койко-дней на 10 000 чел.

Для примера представим расчет социального эффекта от применения разработанной системы, используя коэффициенты, приведенные в таблице 6.

Таблица 6. Коэффициенты для расчета социального эффекта в 2017 г.

Table 6. Coefficients for calculating the social effect in 2017

Параметр	Правила расчета	Значение параметра	Размерность
c_1	Экспертные оценки или расчетные данные	0,1	безразмерный
$N_{вз}$	Статистические данные	26 043 593*	дней в году
k	Статистические данные	50,54*	руб. в день
c_2	Экспертные оценки или расчетные данные	311	случаи на 10 000 человек
n	Статистические данные	368,2	тысяч детей
c_3	Экспертные оценки или расчетные данные	0,6	безразмерный
d	Статистические данные	11,4	дней
$N_{ст.в}$	Статистические данные	5742,8	койко-дней в год на 10 000 человек
f	Статистические данные	435,94*	руб. в год
$N_{ст.д}$	Статистические данные	965,5*	койко-дней в год на 10 000 человек

* Примерные данные, полученные расчетным путем.

Исходя из формулы (4), величина социального эффекта от реализации разработанной системы поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута с учетом загрязненности воздуха в г. Минске составит 302 360 036 белорусских рублей.

Вычисление при помощи уравнения регрессии, отражающее взаимосвязь уровня общей заболеваемости населения от показателя загрязненности атмосферного воздуха «р» [Рыбак, 2009] показывает, что для населения г. Минска, численность которого на 01.01.2019 г. составляла 1 992 800 человек, социально-экономический эффект может составить 154 млн долларов в год. Столь значимая цифра обусловлена эффектами от предотвращения потерь чистой продукции вследствие заболеваемости трудящихся из-за загрязнения окружающей среды, от сокращения выплат по больничным листам в результате тех же причин, от сокращения затрат на лечение трудящихся в результате тех же причин, от повышения производительности труда вследствие улучшения экологической обстановки. На рисунке 5 приводится схематическое изображение работы предложенного нами комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный авторами аппаратно-программный комплекс (прибор) для мобильного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха не отменяет получение информации от имеющихся источников – стационарных постов, а дополняет их с целью получения актуальной и своевременной информации. При работе комплекса использован алгоритм нахождения самого безопасного маршрута движения с точки зрения неблагоприятного воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека, однако такой маршрут не обязательно является минимальным по протяженности из всех возможных. Социально-экономический эффект от применения данной системы может достигать 145 млн долларов в год для всех жителей г. Минска за счет снижения уровня заболеваемости населения и сокращения затрат на выплаты по больничным листам и амбулаторное лечение. Предложенная система может также найти применение в условиях техногенных аварий и экологических катастроф.

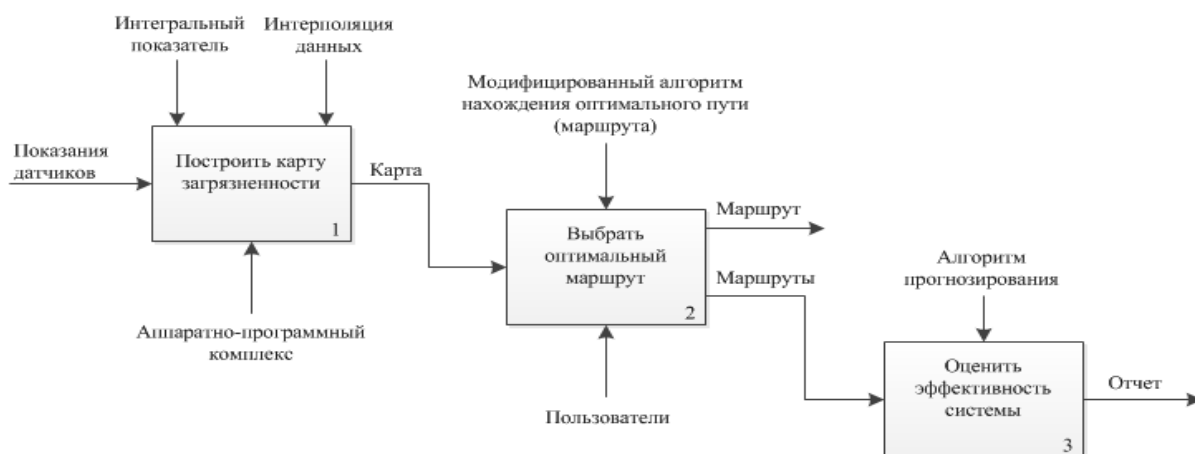


Рис. 5. Структура предложенной системы поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута с учетом загрязненности воздуха

Fig. 5. Structure of the proposed decision support system while choosing the optimal route taking air pollution into account

ЛИТЕРАТУРА

- Лазарева Е.О. 2016. Схема уточнения к модели прогнозирования рассеивания антропогенных примесей атмосферного воздуха для г. Санкт-Петербург. *Естественные и технические науки*. Москва: Спутник+. № 3. С. 117–127.
- Локощенко М.А., Еланский Н.Ф., Трифанова А.В. 2014. Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха в Москве. *Вестник РАЕН*. Т. 14. № 1. С. 64–67.
- Нагаева О.С. 2016. Оценка социально-экономической эффективности региональных инвестиционных проектов. *Региональная экономика и управление: Электронный научный журнал*. № 4. С. 40–50.
- Попова Л.Н. 2016. Применение беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера. *Молодой ученый*. № 24. С. 105–108.
- Правкина С.Д. 2006. Мониторинг экологического состояния агроландшафтов в зоне влияния выбросов транспорта и мобильной сельскохозяйственной техники (на примере Рязанской области) в городах. *Автореферат диссертации ... канд. с.-х. наук*. Москва. 24 с.
- Рыбак В.А. 2008. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения. Минск: РИВШ. 368 с.
- Рыбак В.А. 2009. Методологические основы принятия решений для управления природоохранной деятельностью. Минск: РИВШ. 274 с.
- Рыбак В.А. 2010. Антропогенная нагрузка на окружающую среду: количественная оценка, анализ, нормирование. *Монография*. Минск: РИВШ. 334 с.
- Рыбак В.А., Рябычина О.П. 2018. Обзор методов и средств мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. *Современная наука: актуальные проблемы*

теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. № 4. С. 76–83.

- Степанченко И.В. 2015. Поддержка принятия решений для задач экологического мониторинга атмосферного воздуха в городах. *Автореферат диссертации ... д-ра техн. наук*. Волгоград. 32 с.
- Фетисова Л.М. 2011. Методы оценки и прогноза загрязнения воздуха. Саратов: СГУ. С. 48.

REFERENCES

- Lazareva E.O. 2016. Scheme of refinement to the model for predicting the dispersion of anthropogenic air pollutants for St. Petersburg. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki (Natural and technical sciences)*. Moscow: Sputnik +. № 3. P. 117–127.
- Lokoshchenko M.A., Elansky N.F., Trifanova A.V. 2014. The influence of meteorological conditions on air pollution in Moscow. *Vestnik RAYEN (RANS Bulletin)*. Vol. 14. № 1. P. 64–67.
- Nagaeva O.S. 2016. Assessment of the socioeconomic efficiency of regional investment projects. *Regional'naya ekonomika i upravleniye: Elektronnyy nauchnyy zhurnal (Regional Economics and Management: Electronic Scientific Journal)*. № 4. P. 40–50.
- Popova L.N. 2016. The use of unmanned aerial vehicles in the Far North. *Molodoy uchenyy (Young scientist)*. № 24. P. 105–108.
- Pravkina S.D. 2006. Monitoring of the ecological state of agricultural landscapes in the zone of influence of emissions from transport and mobile agricultural machinery (on the example of Ryazan region) cities. *Abstract of the candidacy dissertation for Agricultural sciences*. Moscow. 24 p.
- Rybak V.A. 2008. Impact of environmental pollution on public health. Minsk: RIVSH. 368 p.

- Rybak V.A. 2009. Methodological foundations of decision making for environmental management. Minsk: RIVSH. 274 p.
- Rybak V.A. 2010. Anthropogenic load on the environment: quantitative assessment, analysis, regulation. *Monograph*. Minsk: RIVSH. 334 p.
- Rybak V.A., Ryabychina O.P. 2018. Review of methods and tools for monitoring air pollution. *Sovremennaya nauka: aktual'nyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki (Modern science: topical problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences)*. № 4. P. 76–83.
- Stepanchenko I.V. 2015. Decision support for the problems of environmental monitoring of atmospheric air in cities. *Abstract of the candidacy dissertation for technical sciences*. Volgograd. 32 p.
- Fetisova L.M. 2011. Methods for assessing and forecasting air pollution. Saratov: SSU. P. 48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рыбак Виктор Александрович – Белорусская государственная академия связи; 220022, Республика Беларусь, Минск; кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Программное обеспечение сетей телекоммуникаций»; 6774338@tut.by. SPIN-код: 9413-7880.

Rybak Victor Aleksandrovich – Belarusian State Academy of Communications; 220022, Belarus, Minsk; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Telecommunication Networks Software; 6774338@tut.by. SPIN-код: 9413-7880.

Рябычина Ольга Петровна – Белорусская государственная академия связи; 220022, Республика Беларусь, Минск; магистр технических наук, старший преподаватель.

Ryabychina Olga Petrovna – Belarusian State Academy of Communications; 220022, Belarus, Minsk; Master of Technical Sciences, Senior Lecturer.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Труднев С.Ю.

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский,
ул. Ключевская, 35.

Приводится описание широко применяемых современных полупроводниковых преобразователей и обзор принципиальных схем работы бустерного, чопперного и широтно-импульсного преобразователя напряжения. Дано теоретическое и математическое описание процессов управления преобразователями, на основании которых в программе *Matlab* разработаны компьютерные модели полупроводниковых преобразователей. На каждой компьютерной модели проведен ряд экспериментов, произведена обработка выходных вольт-амперных характеристик, позволяющая сделать вывод о работоспособности разработанных компьютерных моделей. Подтвержденная адекватность компьютерных моделей позволяет использовать их в учебном процессе при изучении курса электрических машин.

Ключевые слова: компьютерная модель, напряжение, ключ, полупроводниковый преобразователь.

COMPUTER MODELING OF SEMICONDUCTOR CONVERTERS

Trudnev S.Yu.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

The description of widely used modern semiconductor converters and an overview of the basic diagrams of the operation of booster, chopper and pulse-width voltage converters are provided. A theoretical and mathematical description of the control processes of converters is given, on the basis of which computer models of semiconductor converters were developed in the *Matlab* program. On each computer model, a number of experiments were carried out and output current-voltage characteristics were processed, which makes it possible to conclude on the operability of developed computer models. The confirmed adequacy of computer models allows using them in the educational process during the course on electrical machines.

Key words: switch, computer model, voltage, semiconductor converter.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в связи с широким развитием информационных технологий все большее внимание уделяется использованию в различных исследованиях средств вычислительной техники. Компьютерные технологии, в основе которых лежат прикладные программные пакеты, предоставляют возможность более глубокого изучения какого-либо объекта исследования. Создание компьютерных моделей дает возможность, не прибегая к разработке реальных испытательных макетов, провести идентификацию основных параметров макета и выявить основные его недостатки. Особенно актуально создание компьютерных моделей для технических объектов, состоящих из дорогостоящей элементной базы. С другой стороны, при освоении нового практического материала, связанного с эксплуатацией сложного технического объекта, требующего определенных допусков, молодой ученый или обучающийся не имеет возможности получить практические навыки, исследуя сложный технический объект. Однако созданная компьютерная модель поможет освоить любую компетенцию, связанную с практической эксплуатацией технически сложного объекта исследования или отдельных его элементов, без каких-либо допусков, не затрачивая при этом никаких материальных ресурсов.

Анализируя существующие современные средства моделирования, а также научные труды ведущих специалистов в области электротехники [Баранов, 1997; Черных, 2008, Герман-Галкин, 2017], для решения прикладных задач на ЭВМ широкое распространение получила система компьютерной математики *Matlab*.

Для моделирования и симуляции электроэнергетических систем применя-

ется пакет *Sim Power Systems*, входящий в состав программы *Matlab*. В библиотеки включены модели электроэнергетических компонентов, включая трехфазные машины, электроприводы и компоненты для прикладных задач, такие как гибкие системы передачи переменного тока (*flexible AC transmission systems (FACTS)*) и системы возобновляемой энергии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пакет *Sim Power Systems*, используемый вместе с *Simulink*, предоставляет широкие возможности по моделированию силовых полупроводниковых преобразователей и систем управления. Виртуальные модели, разработанные на основе этих двух пакетов, позволяют глубоко изучить физические процессы превращения электроэнергии, не прибегая к использованию реальных полупроводниковых устройств.

В большинстве случаев при моделировании полупроводниковых преобразователей в роли систем управления можно использовать специализированные блоки пакета *Sim Power Systems* [Труднев, 2015], которые находятся в библиотеке *Extra Library / Control Blocks*. В тех случаях, когда ни один из готовых блоков не подходит, можно сложить систему управления из функциональных элементов пакета *Simulink* на основе математических уравнений, описывающих работу электротехнического устройства. Анализ качественных характеристик, широко применяемых полупроводниковых преобразователей, позволит определить оптимальный спектр применения каждого из них.

Метод компьютерного моделирования в программе *Matlab* позволяет полноценно исследовать практически все режимы работы любого электротехнического

прибора. Рассмотрим работу трех видов преобразователей, построенных на *IGBT*-транзисторах: буферного, чопперного и широтно-импульсного. Созданные на основе математических уравнений и принципиальных схем компьютерные модели дают возможность изучить работу каждого вышеперечисленного преобразователя.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Повышающий преобразователь постоянного напряжения относится к классу импульсных источников питания (ИИП), принцип действия которых основан на периодическом прерывании постоянного напряжения, которое приходит на вход устройства. Принципиальная схема повышающего ИИП приведена на рис. 1, 1. Основным элементом схемы является управляемый ключ Sw , в роли которого используется транзистор. Периодическое замыкание и размыкание ключа приводит к скачкообразному изменению напряжения дросселя и пульсации тока в нем. В результате на выходе преобразователя имеем пульсирующее напряжение, которое превышает входное по значению. Исходя из специфики работы устройства, следует, что система управления должна обеспечивать коммутацию ключа с определенной частотой, причем соотношение между длительностью замкнутого и разомкнутого состояний обуславливает значение напряжения на выходе.

Модель повышающего источника с транзистором *IGBT* представлена на рис. 1, 2. В данном случае рассматривается наиболее простой вариант преобразователя, когда нет необходимости обеспечивать стабилизацию напряжения на выходе, а нужно просто повысить входное напряжение источника, например с 60 В до 100 В. В таком варианте в роли системы управле-

ния целесообразно использовать блок *Pulse Generator* [Герман-Галкин, 2008; Черных, 2008; Герман-Галкин, Кузнецов, 2017], который генерирует импульсы заданной частоты и ширины. В окне настройки блока надо задать параметры *Period* и *Pulse Width* (период и ширина импульсов соответственно). При этом частота f вычисляется как величина, обратная периоду $T(f = 1/T)$, а ширина импульса (скважность) задается в процентах от периода. В общем случае, когда известны длительность импульса t_i и длительность паузы t_n , коэффициент определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{t_i}{t_i + t_n} = \frac{t_i}{T}. \quad (1)$$

Для повышающего импульсного источника значение, необходимое для получения напряжения на выходе U_{out} при заданном входном U_{in} , рассчитывается выражением:

$$\gamma = 1 - \frac{U_{in}}{U_{out}}. \quad (2)$$

Для рассматриваемого случая $\gamma = 0,4$, то есть 40% длительности всего периода транзистор находится в ведущем состоянии. Параметр *Phase delay* обеспечивает задержку начала генерирования импульсов на заданное количество секунд (для данной модели установлен в 0). Результаты работы модели приведены на рис. 1, 3. Жирными линиями обозначенный ток дросселя i_L и напряжение на нагрузке U_{out} , а тонкими линиями i_{CE} и U_{CE} – ток коллектора и напряжение коллектор-эмиттер транзистора соответственно. Ток и напряжение диода также могут быть измерены через выход m (рис. 1, 2). График на рис. 1, 3 показывает, что выходное напряжение U_{out} составляет 100 В при заданном входном напряжении $U_{in} = 60$ В, что подтверждает адекватность компьютерной модели.

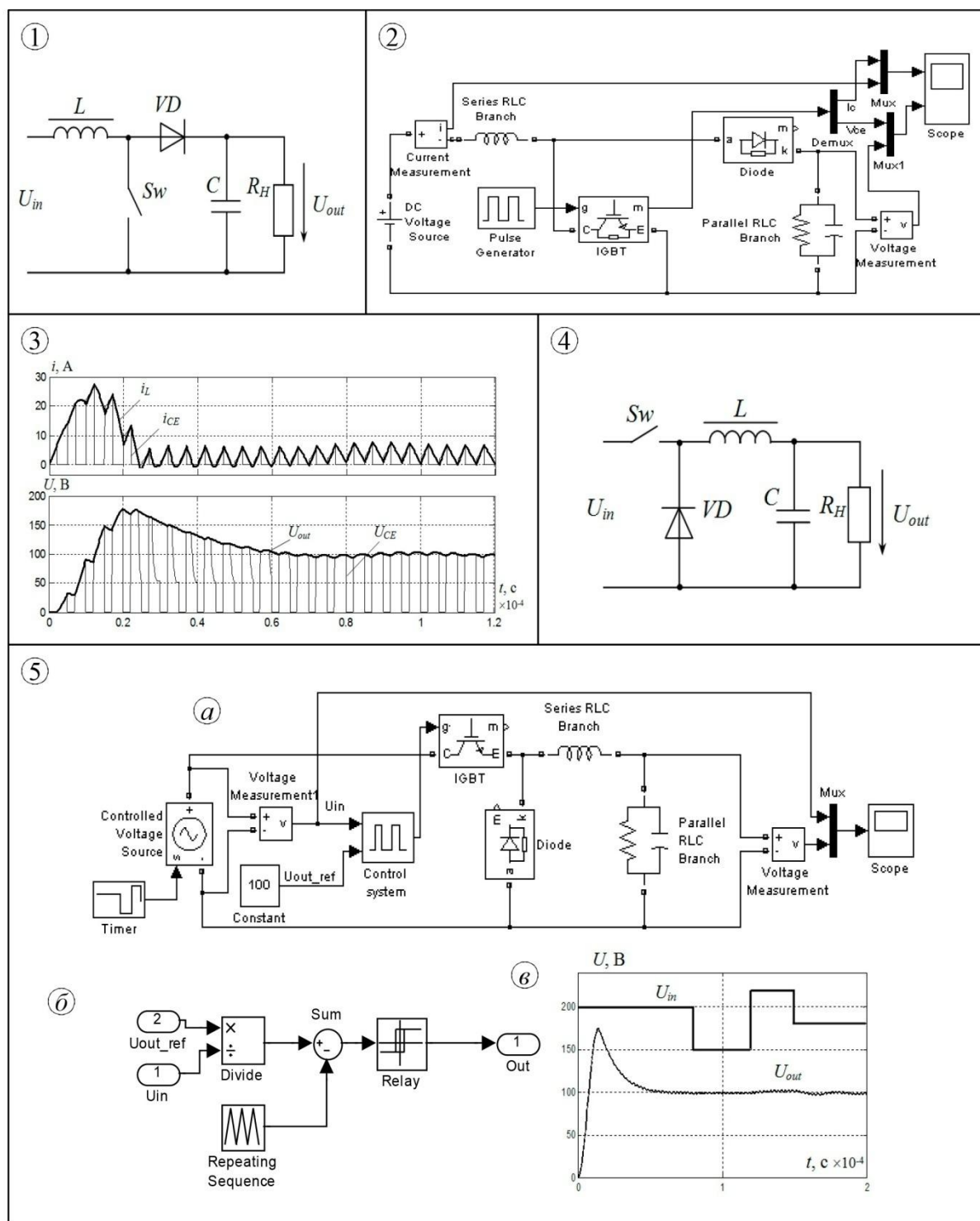


Рис. 1. Работа преобразователя напряжения на нагрузку: 1 – принципиальная схема повышающего импульсного источника питания; 2 – компьютерная модель повышающего источника в программе *Matlab*; 3 – осциллограммы выходного сигнала; 4 – принципиальная схема понижающего стабилизатора; 5 – модель понижающего импульсного источника питания (а); модель системы управления *Control System* (б); осциллограммы напряжения преобразователя (в)

Fig. 1. Operation of the voltage converter to the load: 1 – schematic diagram of the step-up power supply; 2 – computer model of the boost source in the *Matlab* program; 3 – output waveforms; 4 – schematic diagram of the step-down stabilizer; 5 – model of the step-down IIP (a); model of the *Control System* (б); oscillograms of the converter voltage (в)

Далее рассмотрим понижающий преобразователь постоянного напряжения. Рассмотренный выше блок *Pulse Generator* является примером самой простой системы управления, поскольку в нем не предусмотрено изменение параметров в процессе сеанса моделирования. Другими словами, параметры импульсов (амплитуда, период, ширина) должны быть заданы заранее в окне настройки и не могут быть изменены, пока не завершится расчет модели. Однако может возникнуть необходимость моделирования преобразователя, в котором система управления изменяет параметр γ (*Pulse Width*), а следовательно, и выходное напряжение, непосредственно во время расчета модели. Например, импульсный стабилизатор напряжения, в котором выходной сигнал поддерживается на заданном уровне независимо от колебаний входного напряжения.

Для иллюстрации данного примера рассмотрим понижающий преобразователь со стабилизацией напряжения (рис. 1, 4). Он состоит из тех же элементов, что и повышающий преобразователь, но в данной схеме управляемый ключ установлен на входе устройства. В моменты замкнутых состояний ключа дроссель L накапливает энергию, а при размыкании ключа – разряжается за кругом «диод-нагрузка». В итоге напряжение на нагрузке оказывается меньше входного и может регулироваться изменением напряжения, то есть соотношением (1) между режимами замкнутого и разомкнутого состояний ключа. Для понижающего преобразователя при заданных напряжениях на входе и выходе схемы коэффициент γ определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{U_{out}}{U_{in}}. \quad (3)$$

Компьютерная модель преобразователя и его система управления приведены на

рис. 1, 5а и 1, 5б соответственно. Рассмотрим случай, когда в процессе моделирования напряжение на входе несколько раз изменяет свое значение. Для этого в модели вместо обычного источника постоянного напряжения *DC Voltage Source* использован управляемый источник *Controlled Voltage Source*, напряжение которого задается с помощью блока *Timer*. В роли ключа, как и в предыдущем случае, применяется блок *IGBT*. Очевидно, что, если напряжение на входе цепи изменяется, то для постоянства напряжения на нагрузке параметр γ тоже должен изменить свое значение в соответствии с уравнением (3). Это обеспечивает система управления, выполненная в виде подсистемы *Control system* [Герман-Галкин, 2008; Герман-Галкин, Кузнецов, 2017], пиктограмма которой для наглядности оформлена с помощью редактора маски *Mask Editor*. Данная система управления построена по так называемому вертикальному принципу. На ее вход приходит сигнал в виде значения напряжения $U_{out - ref}$, которое нужно поддерживать на выходе преобразователя, а также измеренное входное напряжение U_{in} . Блок *Divide* формирует отношение этих двух сигналов (рис. 1, 5б), и полученный в результате управляющий сигнал сравнивается с пилообразным напряжением блока *Repeating Sequence*. В моменты равенства управляющего и пилообразного сигналов блок *Relay* формирует импульс, который приходит на вход g транзистора. Окна настройки блоков *Timer* и *Repeating Sequence* приведены на рис. 2.

В верхних полях обоих окон вводятся значения времени, а в нижних – соответствующие значения исходного сигнала. Настройки блока *Relay* остаются заданными по умолчанию. Результаты моделирования (рис. 1, 5в) показывают, что напряжение на нагрузке сохраняет свое значе-

ние 100 В при разных значениях входного напряжения, то есть в данном случае преобразователь обеспечивает не только преобразование напряжения за уровнем, а также и его стабилизацию, что подтверждает адекватность разработанной компьютерной модели понижающего стабилизатора (рис. 1, 5).

Далее рассмотрим вариант системы управления, при котором напряжение на выходе преобразователя изменяется в результате изменения сигнала задания. На рис. 3, 1 приведена принципиальная схема широтно-импульсного преобразователя напряжения (ШИП), которая чаще всего используется в системах управления работой электропривода [Баранов, Раимов, 1997]. ШИП состоит из четырех транзисторных ключей с обратными диодами, нагрузка включена в диагональ моста. При симметричном способе управления ключи работают попарно – VT1, VT4 и VT2, VT3. При этом напряжение на нагрузке является двуполярными (знакопеременными) импульсами, а среднее значение этого напряжения определяется схожестью импульсов γ . При несимметричном управлении переключаются только транзисторные ключи VT3 и VT4, ключ VT1 постоянно открыт, а ключ VT2 постоянно закрыт. В этом случае напряжение на нагрузке однопольное, что позволяет уменьшить пульсации тока нагрузки.

Модель ШИП при работе на активно-индуктивную нагрузку приведена на рис. 3, 2. Мост моделируется блоком *Universal Bridge* с силовыми модулями *IGBT / Diodes*. Количество плеч моста равняется 2 (*Number of bridge arms*). Рассмотрим случай, когда в процессе моделирования нужно осуществить реверс напряжения нагрузки из значения $0,5U_{вх}$ к значению $-0,5U_{вх}$ в момент времени 0,05 с. При этом на входе системы управления *Control*

system должен измениться коэффициент γ . В качестве источника управляющего сигнала γ лучше использовать блок *Step*, параметры которого установлены в следующие значения:

Step time: 0.05,

Initial value: 0.5,

Final value: - 0.5.

Если нужно изменить напряжение нагрузки в процессе моделирования, то для реализации симметричной системы управления достаточно использовать два блока *Pulse Generator* (по одному на каждую пару ключей) с соответствующим значением параметра γ , а для несимметричной системы – еще дополнительно два блока *Constant* (для подачи постоянных сигналов на ключи, которые не изменяют своего состояния).

Внутренняя модель системы управления *Control system* для симметричного закона управления ШИП приведена на рис. 3, 3. Она подобна рассмотренной ранее модели для понижающего преобразователя (рис. 1, 5б), с той лишь разницей, что в данном случае значение γ не рассчитывается в подсистеме, а приходит на ее вход из блока *Step*. Кроме того, поскольку мост имеет четыре ключа, то подсистема генерирует четыре импульса. Блок *Logical Operator* здесь реализует инверсию сигнала, чтобы две пары ключей работали в противофазе. В настройках блока *Repeating Sequence* параметр *Time values* установлен в значение [0 0.001 0.001 0.002], а параметр *Output values* – [- 1 1 1 -1]. Осциллограммы тока i_n и напряжения U_n на нагрузке приведены на рис. 3, 4. Выходные характеристики тока и напряжения компьютерной модели ШИП соответствуют рабочим характеристикам реального преобразователя с погрешностью 3,5%, такие выводы подтверждают адекватность разработанной компьютерной модели ШИП.

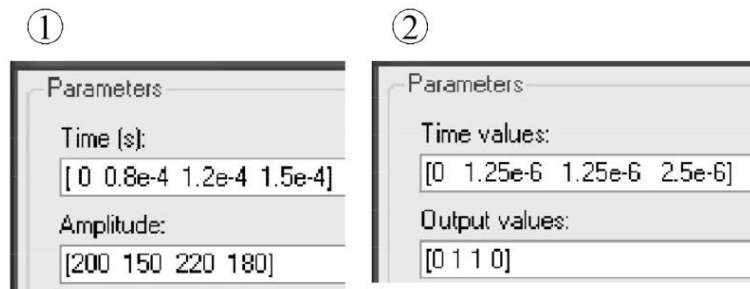


Рис. 2. Окна настройки блоков *Timer* (1) и *Repeating Sequence* (2)

Fig. 2. Windows for configuring blocks *Timer* (1) and *Repeating Sequence* (2)

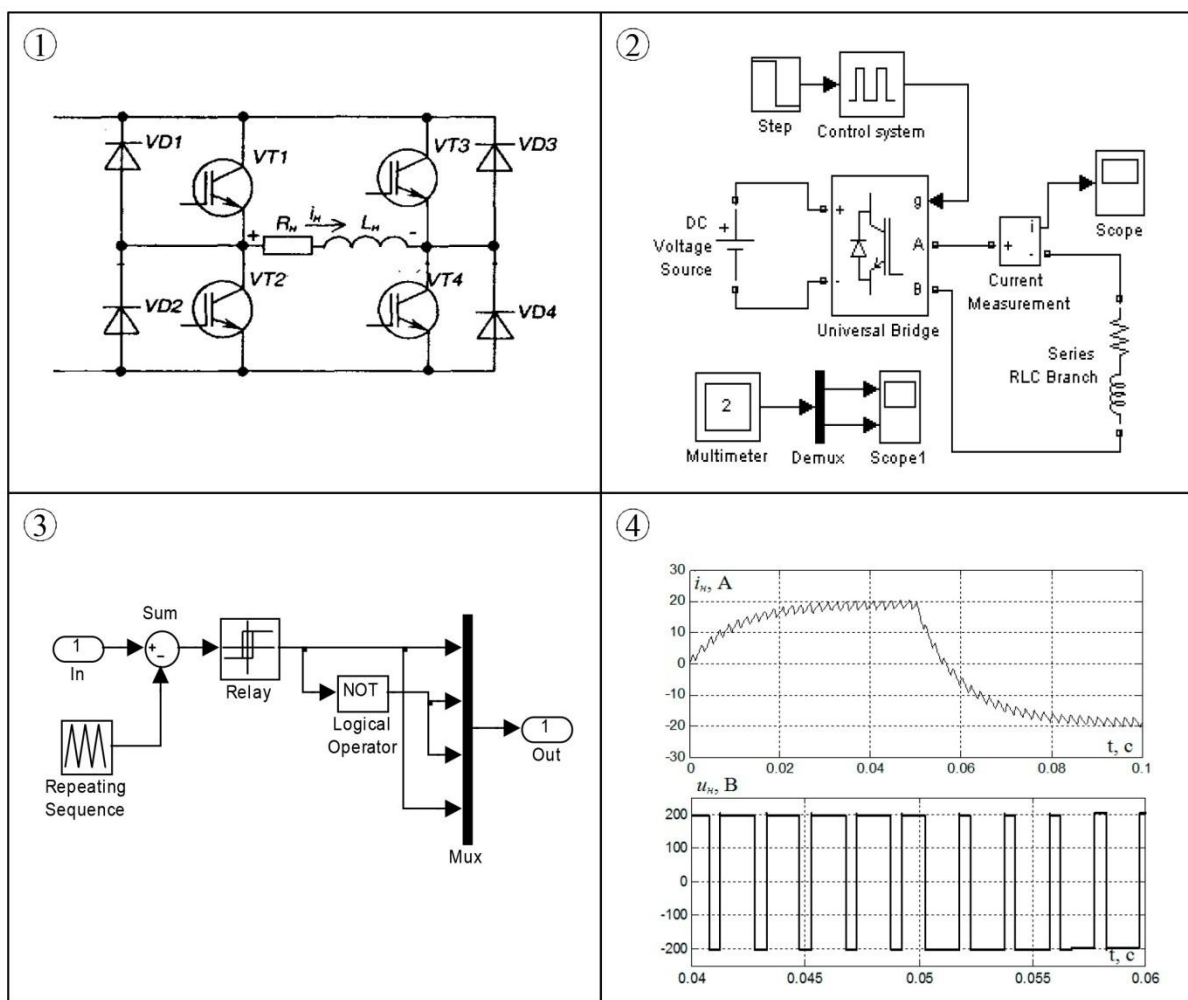


Рис. 3. Работа преобразователя с широтно-импульсной модуляцией (ШИП): 1 – принципиальная схема ШИП; 2 – модель ШИП; 3 – модель системы управления *Control System*; 4 – результаты моделирования ШИП

Fig. 3. Operation of the converter with pulse-width modulation (PWP): 1 – schematic diagram of the PWM; 2 – PWP model; 3 – model of the *Control System*; 4 – results of PWP modeling

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что на сегодняшний день современные средства моделирования позволяют создать компьютерную модель практически любого электротехнического устройства. Результаты проведенных экспериментов полностью подтверждают адекватность работы созданных моделей в программе *Matlab*. На основании проведенных исследований модельных экспериментов также можно сделать ряд дополнительных выводов:

– Опираясь на математические модели, разработанные доктором технических наук И.В. Черных, а также представленные в статье теоретические выкладки позволяют разработать компьютерные модели полупроводниковых преобразователей в программе *Matlab* при помощи пакетов *Simulink* и *Sim Power Systems*.

– Разработанные компьютерные модели позволяют исследовать особенности работы самых распространенных полупроводниковых преобразователей в различных системах управления работой электротехнических приборов.

– Компьютерные модели в дальнейшем могут быть использованы при изучении современных полупроводниковых преобразователей студентами электротехнических специальностей.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранов А.П., Раимов М.М. 1997. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации. СПб.: Элмор. 232 с.
- Герман-Галкин С.Г., Кузнецов В.А. 2017. Оптимизация энергетических характеристик в электроприводе с вентильным двигателем. *Вестник Уральского госу-*

дарственного университета путей сообщений. Т. 30. № 4. С. 77–84.

- Герман-Галкин С.Г. 2008. *Matlab&Simulink*. Проектирование мехатронных систем на ПК М.: Корона-Век. 368 с.
- Труднев С.Ю. 2015. Разработка компьютерной модели параллельной работы генераторного агрегата и трехфазного безынерционного источника питания. *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. Т. 30. № 2. С. 191–197.
- Черных И.В. 2008. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB Sim Power Systems и Simulink. СПб. 288 с.

REFERENCES

- Baranov A.P., Raimov M.M. 1997. Modeling of ship electrical equipment and automation tools. St. Petersburg: Elmore. 232 p.
- Herman-Galkin S.G., Kuznetsov V.A. 2017. Optimization of energy characteristics in an electric drive with a valve motor. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniy (Bulletin of Ural State University of Railway Transport)*. Vol. 30. № 4. P. 77–84.
- Herman-Galkin S.G. 2008. *Matlab&Simulink*. Design of mechatronic systems on a PC M.: Korona-Vek. 368 p.
- Trudnev S.Yu. 2015. Development of a computer model of parallel operation of a generator set and a three-phase inertia-free power supply. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova (Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping)*. Vol. 30. № 2. P. 191–197.
- Chernykh I.V. 2008. Modeling of electrical devices in MATLAB Sim Power Systems and Simulink. St. Petersburg. 288 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ
INFORMATION ABOUT AUTHOR

Труднев Сергей Юрьевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук, декан мореходного факультета, доцент кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»; trudnev@mail.ru. SPIN-код: 7609-8447, AuthorID: 914012.

Trudnev Sergey Yurievich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Technical Sciences, Dean of Naval Faculty; Associate Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair; trudnev@mail.ru. SPIN-код: 7609-8447, Author ID: 914012.

ДЕСТРУКЦИЯ ТКАНЕЙ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *SACCHARINA BONGARDIANA* В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОГЕЛЯ

Клочкова Т.А., Салтанова Н.С.

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

Saccharina bongardiana – один из самых массовых видов ламинариевых водорослей камчатского шельфа, характеризующийся широкой экологической пластичностью и морфологической изменчивостью. В работе описаны отличия его морфогенеза и биологии развития от таковых у других камчатских представителей рода *Saccharina* и близкого к нему рода *Laminaria*, рассмотрены особенности внутреннего строения, позволяющие данному виду осваивать литоральную зону шельфа, противостоять воздействию неблагоприятных факторов. Описан разработанный авторами метод контроля процесса деструкции тканей, происходящий под воздействием термощелочной обработки в процессе получения биогеля из этого вида водорослей *.

Ключевые слова: биология развития, водорослевый биогель, деструкция ткани, морфогенез, термощелочная обработка, *Saccharina bongardiana*.

TISSUE DESTRUCTION IN THE BROWN ALGA, *SACCHARINA BONGARDIANA*, DURING THE PROCESS OF THERMAL-ALKALIN TREATMENT WHEN PRODUCING BIOGEL

Klochkova T.A., Saltanova N.S.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

Saccharina bongardiana is one of the most widespread kelp species in Kamchatka, which is characterized by a broad ecological plasticity and morphological variability. We describe differences in its morphogenesis and developmental biology from the other *Saccharina* and *Laminaria* species from Kamchatka, and features of its internal structure that allow this species to develop in the tidal zone and withstand the effects of adverse environmental factors. The method developed by the authors to control the process of *S. bongardiana* tissue destruction occurring in the process of thermo-alkaline treatment when producing biogel from this alga is described.

Key words: developmental biology, algal biogel, tissue destruction, morphogenesis, thermo-alkaline treatment, *Saccharina bongardiana*.

* Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Федерального агентства по рыболовству в рамках выполнения госзадания по темам НИР № государственной регистрации АААА-А19-119041990002-8 (This study was partially supported by the Federal Agency for Fishery (Rosrybolovstvo) of the Russian Federation in the framework of state assignment on scientific research works (№ of state registration АААА-А19-119041990002-8)).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно, что бурые, главным образом, ламинариевые водоросли являются источником получения веществ, широко востребованных в современной медицине, фармацевтике, пищевой и других отраслях промышленности [Усов, Чижев, 1988; Суховеева, Подкорытова, 2006]. Об их химическом составе, несомненной пользе и самых разных направлениях использования написано большое количество обзорных статей, монографий, квалификационных работ [Суховеева и др., 1981; Камнев, 1989; Ключкова, Березовская, 1997; Вишневская и др., 1999; Ковалева, 2000; Усов и др., 2001; Вишневская, 2003; Липатов, 2004; Вялков и др., 2008; Вафина, 2010; Bilan et al., 2018]. В них показано, что содержащиеся у ламинариевых соединения обладают радиопротекторным, онкопротекторным, иммуномодулирующим действием, характеризуются бактерицидными, фунгицидными, противовирусными и другими полезными свойствами.

Важнейшим направлением переработки ламинариевых является получение из них альгинатсодержащего биогеля – продукта, в котором деструктурирована ткань водоросли и разрушены оболочки клеток. Он нашел широкое применение в медицине, косметической и пищевой промышленности как энтеросорбент, эмульгатор, загуститель, добавка для производства функциональных продуктов, содержащая ценные для здоровья нутриенты [Ковалева, 2000; Липатов, 2004; Разумов и др., 2004; Вафина, 2010]. Технология производства биогеля достаточно проста и широко известна [Патент № 2041656 РФ; Ковалева, 2000; Конева, 2009; Талабаева, 2006]. Ее суть сводится к легкой термощелочной обработке водорослевой массы, проводящей к превращению альгиновых кислот,

входящих в состав клеточных стенок и межклеточного вещества ламинариевых, в их соли – альгинаты – и последующей нейтрализации щелочности продукта при помощи пищевых кислот. Этот процесс сопровождается разрушением клеточных стенок и образованием из клеточного содержимого гомогенной массы с вязкой коллоидной структурой. Формируется она благодаря тому, что соли альгиновых кислот, как и сами кислоты, способны формировать высоковязкие коллоидные растворы.

В готовом водорослевом биогеле наряду с альгинатами содержится весь спектр присущих водорослям химических веществ, и среди них микро- и макроэлементы, витамины, целлюлоза, маннит, фукоидан, ламинаран, сульфатированные гетерогликаны и др. Высокие технологические и лечебно-профилактические свойства данного продукта обуславливают возможность его самостоятельного применения в качестве лечебно-профилактического средства и функциональной добавки в продукты питания, косметическую продукцию [Пьянкова, 2012; Чмыхалова, Стрелкова, 2012; Салтанова и др., 2019; Салтанова, Мищенко, 2019]. Помимо обогащения их ценными для здоровья нутриентами биогель улучшает структуру продуктов, выполняя функции гелеобразователя, стабилизатора и эмульгатора [Богданов, Сафронова, 1993; Талабаева, 2006; Конева, 2009; Вафина, 2010].

Известно, что технология производства водорослевого биогеля и его качество зависят от химического состава сырья. Последний, в свою очередь, зависит от видовой принадлежности растений, их возраста, времени и места сбора, времени их хранения, способа консервации. Поскольку известно, что разновозрастные представители одного и того же и разных видов в разные сезоны года в разных условиях произраста-

ния содержат разное количество воды, минеральных и органических веществ [Клочкова и др., 2019]. Эти химические особенности сырья должны учитываться при производстве водорослевых биогелей.

Одним из наиболее массовых видов ламинариевых водорослей камчатского шельфа является *Saccharina bongardiana*. Изучению его химического состава, морфологической изменчивости, биологии развития, внутреннего строения, размножения и других особенностей посвящен целый ряд публикаций. Сведения о химическом составе этого вида содержатся во многих работах [Алфимов, Петров, 1972; Аминина, Клочкова, 2002; Усов и др., 2001; Конева, Клочкова, 2013]. Приведенные в них данные свидетельствуют о ценности *S. bongardiana* как сырья для производства альгинатсодержащих биогелей.

Вид *S. bongardiana* заметно отличается от других ламинариевых, используемых для производства водорослевых гелей в других регионах страны [Клочкова, Клочкова, 2018], целым рядом анатомо-морфологических и физиологических особенностей. Поскольку он приурочен к небольшим глубинам и способен произрастать на литорали в зоне сильного прибоя, его пластины характеризуются высокой плотностью ткани, покрыты мощной кутикулой, сорусы спорангиев защищены толстым слоем слизи, препятствующей осушению, термическому и иному неблагоприятному воздействию.

Разработка технологии производства водорослевого биогеля из данного вида камчатских ламинариевых требовала учета его анатомических особенностей. В связи с этим авторы статьи провели сравнительное изучение особенностей внутреннего строения вида в период максимального накопления им пластических веществ и разработали метод, позволяющий кон-

тролировать процесс мацерации тканей водоросли. Ниже обсуждаются результаты проведенных исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растения *Saccharina bongardiana* собирали у южного входного мыса Авачинской губы (юго-восточная Камчатка) с июня по ноябрь 2018 г. Собранные растения делили на возрастные группы. В каждой из них выбирали по три наиболее типичных образца и от каждого из них брали для анатомических исследований небольшие, 3×3 см, высечки пластины в ее нижней, средней и верхней третях. Оставшуюся пластинчатую часть слоевища разрезали на куски длиной 25–30 см и укладывали в полиэтиленовые пакеты. Составленные таким образом этикетированные пробы разновозрастных растений до вовлечения в эксперимент хранили в холодильной камере при температуре минус 18°C. Высечки для анатомических исследований в течение периода гистологических исследований, составлявшего 2–3 дня, содержали в витринном холодильнике в чашках Петри с искусственной морской водой при температуре 0–4°C. Для изучения анатомии использовали временные поперечные срезы. Для изучения гистологических препаратов использовали микроскоп Olympus BX43, снабженный программой обработки цифровых изображений.

Для экспериментов по выбору режима термощелочной обработки водорослей и контроля скорости их деструкции использовали 250 г размороженных при температуре 0–4°C водорослей. Их резали на крупные куски и, добавив дистиллированную воду, дробили в бытовом миксере до получения частиц 2–4 мм в поперечнике. После этого гидромодуль доводили до соотношения 1 : 2,5, переливали полученную смесь

в варочную емкость и нагревали ее с помощью водяной бани до температуры не выше 75°C для сохранения целостности альгинатов. Температуру щелочной обработки контролировали с помощью подвешенного на штативе термометра, погруженного в варочную смесь. Соду добавляли после разогрева дробленых водорослей до необходимой в эксперименте температуры. О процессе деструкции тканей судили по данным микроскопирования небольших отбираемых из варочной смеси проб.

Их отбор вели через 10, 20, 25, 30, 40, 50 минут после разогрева варочной смеси до 60°C и добавления к ней пищевой соды. Далее в каждой пробе, размазанной по дну чашки Петри, с помощью стереомикроскопа Olympus CZX10, снабженного цифровой фотокамерой, у 25–30 кусочков водорослей определяли размеры и степень набухания. Статистическую обработку размерных данных вели в программе Excel. Фотографирование мазков геля в чашках Петри делали при одном и том же увеличении с помощью микрофотонасадки к указанному выше стереомикроскопу.

Для определения степени разрушения внутренних тканей *S. bongardiana* готовили тотальные микроскопические препараты и изучали их под микроскопом Olympus BX43. Процесс термощелочной обработки считали завершенным, когда в гистологических препаратах наблюдали полную дезинтеграцию клеток, деструкцию клеточных оболочек центрального и подкорового слоев пластины, наличие небольших по размерам агрегаций соединенных кутикулой клеток коры и небольшие неразвалившиеся пучки зооспорангиев и парафиз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение *Saccharina bongardiana* и других камчатских ламинариевых имеет дли-

тельную историю. Первые сведения об их морфогенезе и биологии развития были получены в конце 1990-х [Клочкова, Березовская, 1997]. Имеются данные, что этот вид вегетирует не более трех лет, у Командорских островов и Северных Курил живет два года [Иванюшина, Жигадлова, 1994; Огородников, 2007].

Изучение возрастного развития и размножения этого вида показало, что каждая возрастная генерация имеет свою стратегию развития и дает разный вклад в воспроизводство популяции [Королева, 2004]. У растений первого года закладка сорусов спорангиев и выброс зооспор происходят заметно позже, чем у более старых растений, а у ряда растений, начавших свое развитие в теплую половину года, сорусы спорангиев закладываются очень поздно, и растение уходит под зиму с незрелыми органами размножения, как у других сахарин и ламинарий. Весной сорусы созревают, и выход из них половых продуктов может продолжаться до июня. Только после этого прошлогодняя пластина разрушается [Саушкина, 2006; Кусиди, 2007].

У растений второго года жизни, сбросивших прошлогоднюю пластину, закладка фертильной ткани начинается со второй половины июля. Созревает она к концу августа – сентябрю, одновременно с выходом спор у второгогодних растений, вплоть до поздней осени продолжается закладка новых порций сорусов спорангиев, с которыми пластина уходит вновь под зиму. Дальнейшее развитие этой возрастной генерации протекает аналогично, как и у растений первого года жизни [Клочкова, Березовская, 1997]. На третьем году жизни растения развиваются по тому же сценарию. Однако размеры, масса, огрубелость их пластин, а также коэффициент фертильности становятся намного большими, чем в предыдущие годы.

Таким образом, в природных популяциях *S. bongardiana* практически круглый год, за исключением краткосрочного летнего периода, между завершением весенней волны спороношения и созреванием спор, заложившихся на сеголетней пластине, растения имеют сорусы спорангиев. У сеголетних пластин они закладываются в нижней трети. По мере их базального роста они перемещаются в среднюю, а затем, созревая, и в верхнюю треть пластины.

Сорусы спорангиев даже при интенсивной закладке редко образуют сплошное покрытие пластин. Чаще они имеют вид иероглифических пятен. Отношение площади сорусов спорангиев к общей фотосинтетической площади пластины у *S. bongardiana* достигает не более 40–50% [Саушкина, 2006]. После высыпания спор пластина, имея способность к регенерации поврежденного покрова, не подвергается тотальному разрушению, как это имеет место у других камчатских ламинариевых, например у *Laminaria yezoensis* и *Saccharina dentigera*, и становится лишь более толстой и грубой.

Внутреннее строение *S. bongardiana* подвержено значительным сезонным изменениям. В фазу активного линейного роста пластина имеет одно- или двухклеточную кору и крупные тонкостенные подкоровые клетки. Сердцевина у нее представлена более мелкими, плотно расположенными округло-многоугольными клетками. Уже на этой стадии развития в подкоровом слое начинается формирование слизистых ходов, выстланных секреторными клетками. По мере роста пластины они могут зарастать и закладываться вновь. По мере созревания пластин кора становится многослойной (рис. 1, 1–2). Ее клетки становятся более мелкими, у них утолщаются оболочки. Подкорка и меристодерма по мере взросления растений становятся все более мелкоклеточными

и толстостенными. Клетки медуллярной ткани приобретают длинно-цилиндрическую форму и располагаются достаточно рыхло в межклеточной слизи. Сердцевина у взрослых растений может занимать половину или даже 2/3 общей толщины пластины (рис. 1, 2).

В период полной зрелости пластина покрывается толстым слоем кутикулы. У литоральных растений в период осеннего похолодания толщина кутикулы может достигать 27 мкм. В это время у парафиз, окружающих сорусы спорангиев (рис. 1, 3–4), заметно увеличивается высота слизистых колпачков. Смыкаясь, они формируют толстый подлежащий под кутикулой слизистый слой. Он играет криопротекторную функцию, защищая фертильные клетки от повреждения при значительных в позднее осеннее время перепадах температуры.

Термощелочная обработка у водорослей, находящихся на разных стадиях созревания тканей, протекает с разной скоростью. Биогель, полученный из разных партий водорослей, характеризовался разной вязкостью, разными сроками хранения, требовал разного расхода химических реактивов. Однако во всех случаях термощелочная обработка сначала приводит к разбуханию в раздробленных фрагментах слоевищ медуллярной ткани, затем к разединению дорсальной и вентральной частей пластины. После этого наблюдается мацерация клеток медуллы, тогда как меристодерма и кора сохраняют свою целостность.

Следующий этап деструкции протекает достаточно длительно и завершается разрыхлением коры и меристодермы и деструкцией их клеток. Активное перемешивание биогеля, в том числе блендером, значительно ускоряет этот процесс. Описанная выше последовательность мацерации тканей *S. bongardiana* показана на рисунке 2.

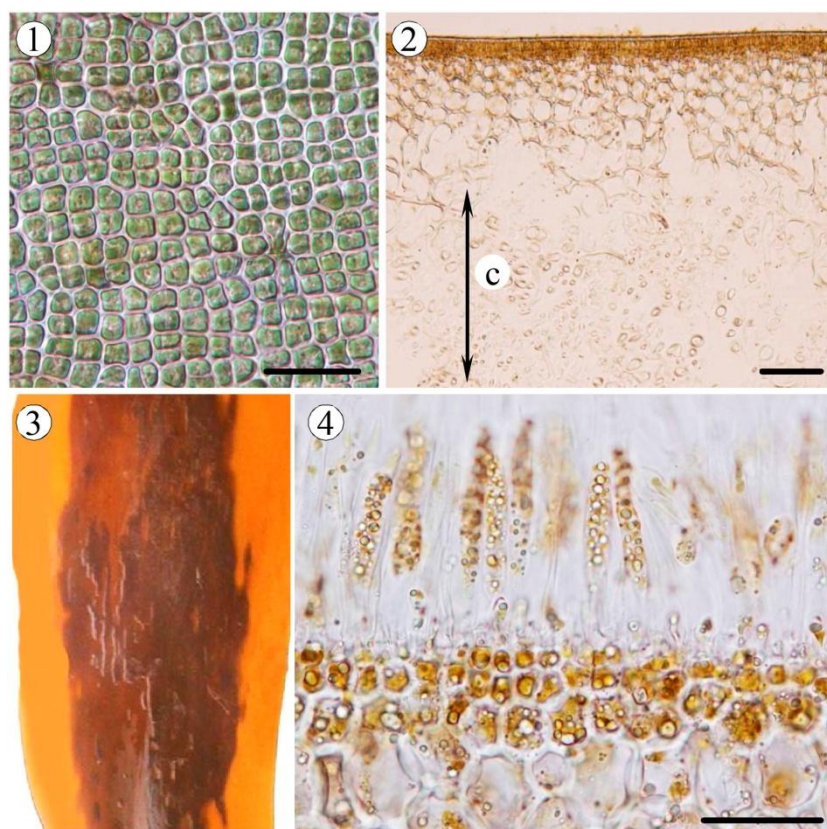


Рис. 1. Срезы пластин *Saccharina bongardiana*, собранных в разные периоды фенологического развития (1–2, 4), и участок пластины с двусторонними зрелыми сорусами спорангиев (4): 1 – внешний вид клеток коры сверху пластины; 2 – срез пластины в фазу созревания стерильной ткани. Двусторонней стрелкой (с) показаны границы медуллярной ткани; 3 – участок пластины с сорусами спорангиев; 4 – поперечный срез пластины с сорусами спорангиев. Масштаб: 100 мкм (1, 4), 20 мкм (2)

Fig. 1. Sections of *Saccharina bongardiana* blades collected during different periods of phenological development (1–2, 4) and part of the blade with mature sporangial sori located on its both sides (4): 1 – cortical cells photographed from the blade's surface; 2 – section of the blade in the phase of sterile tissue maturation. The double-sided arrow (c) points to the medullary tissue boundaries; 3 – part of the blade with sporangial sori; 4 – cross section of the blade showing sporangial sori. Scale bars: 100 μm (1, 4), 20 μm (2)

Представленная ниже таблица показывает стадии процесса деструкции внутренних тканей *S. bongardiana* во время термощелочной обработки дробленых водорослей: отделение дорсальной части пластины от вентральной, изменение размеров фрагментов дробленого слоевища, постепенное уменьшение поперечника фрагментов за счет «истаивания» их краев, благодаря разрыхлению клеток в пластах подкорки и меристодермы и их последую-

щей дезинтеграции. Изучение хода мацерации показывает, что после 25 минут термощелочной обработки уже отчетливо выражен процесс разделения дорсального и вентрального слоев пластины. Еще через 5 минут он практически завершается, еще через 20 минут после этого водорослевый гель содержит фрагменты водорослей, поперечник которых менее 1 мм. Внешне биогель выглядит как коллоидная биогенная масса.

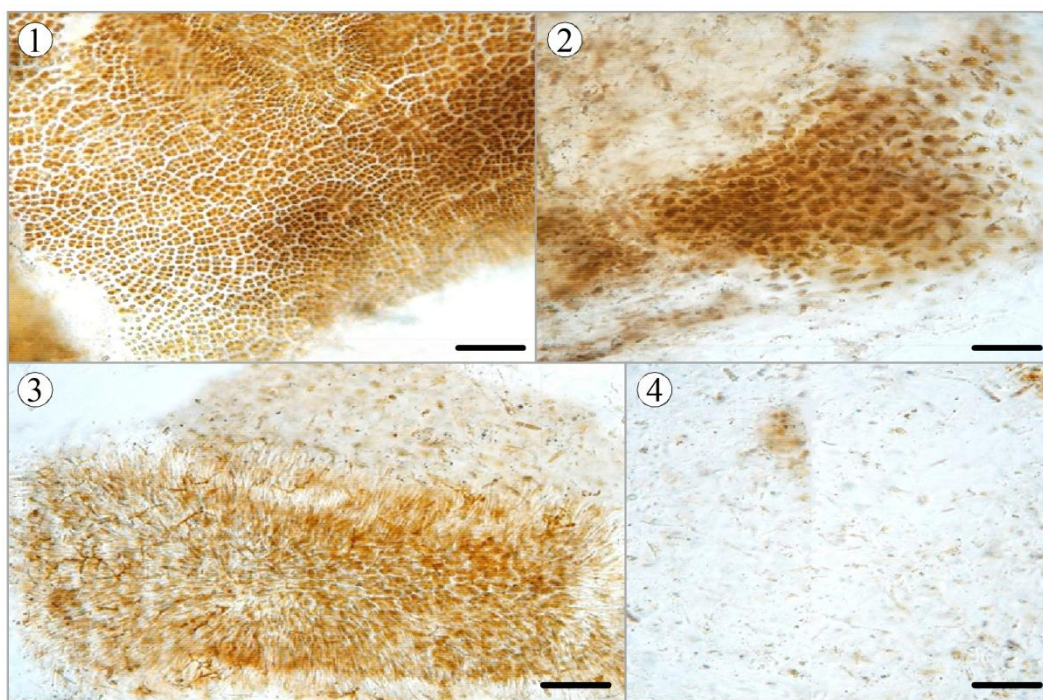


Рис. 2. Последовательность мацерации тканей *Saccharina bongardiana*: 1 – разделение дорсальной и вентральной половин слоевища и разрыхление корового слоя; 2 – разрыхление и дезинтеграция клеток меристодермы и медуллярной ткани; 3 – фрагмент соруса спорангиев с дезинтегрированными зооспорангиями и парафизами; 4 – мазок водорослевого биогеля в конце варки. Видны разрушенные нити сердцевины, отдельные парафизы и зооспорангии, небольшие скопления клеток меристодермы. Масштаб: 100 мкм (1, 3, 4), 50 мкм (2)

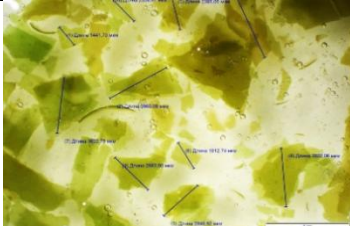
Fig. 2. The sequence of *Saccharina bongardiana* tissue maceration process: 1 – separation of the dorsal and ventral halves of the thallus and loosening of the cortical layer; 2 – loosening and disintegration of the meristoderm cells and medullar tissue; 3 – fragment of sporangial sori with disintegrated zoosporangia and paraphyses; 4 – smear of the algal biogel at the end of preparation. Broken filaments of the medullar tissue, individual paraphyses and zoosporangia, small clusters of meristoderm cells are visible. Scale: 100 μm (1, 3, 4), 50 μm (2)

Таблица. Мацерация дробленой *Saccharina bongardiana* в процессе ее термощелочной обработки

Table. Maceration of shredded *Saccharina bongardiana* thalli during thermo-alkaline treatment

Этап варки	Время варки (минут)	Внешний вид дробленых водорослей	Средние размеры частиц (мм)	Характеристика изменений
1	2	3	4	5
1	10		4,01	Частицы плотные, целостные, без разделения на дорсальную и вентральную части
2	20		3,82	Частицы с начавшимся разделением на дорсальную и вентральную части. Наблюдается дробление крупных частиц

Окончание табл.

1	2	3	4	5
3	25		3,05	Продолжающийся процесс разрушения крупных частиц и расслоения пластины
4	30		2,6	Полное расслоение пластины, дезинтеграция клеток подкормки и сердцевины, дробление пластинок из коровой ткани и меристодермы
5	40		1,98	Продолжающаяся фрагментация частей водорослей, разрыхление частиц, увеличение вязкости биогеля
6	50		0,83	Сильное набухание оставшихся частиц водорослей, почти полное разрушение оболочек клеток подкормки и меристодермы, увеличение вязкости биогеля

В таблице использованы результаты, полученные в ходе термощелочной обработки двухлетних растений *S. bongardiana*, собранных в октябре, содержание альгиновых кислот у них в это время достигало 31,2% от сухого вещества. Этого количества оказалось достаточно для получения при указанном выше гидромодуле 1 : 2,5 высоковязкого геля. Без изменения качества он хранился при температуре 0–2°C четыре месяца.

Использование описанной выше методики для июньских сеголетних пластин растений второго года жизни показало, что у них весь процесс варки биогеля от нагрева водно-водорослевой смеси до 60°C и добавления к ней пищевой соды длился 35 минут.

Полученный биогель имел низкую вязкость. Деструкция тканей водорослей, собранных в августе и сентябре, протекала близко к таковой в октябре. Содержание в августовских образцах альгиновых кислот было наибольшим за весь период с июня по октябрь и составляло 43,3%. Ноябрьские растения имели очень жесткую кутикулу и толстостенные клетки подкорового слоя. Полученный из них биогель после термощелочной обработки, длившейся более часа, при увеличенном количестве внесенной соды так и не приобрел гомогенной структуры и был наполнен небольшими, 0,5–0,67 мм в поперечнике, разбухшими, но не подвергшимися дезинтеграции комочками. Это были, главным образом, фрагменты стерильной ткани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что наиболее массовая для юго-восточной Камчатки ламинариевая водоросль *S. bongardiana*, несмотря на высокую плотность внутренних тканей, наличие мощного кутикулярного и корового слоев является удовлетворительным сырьем для производства альгинатсодержащего биогеля. При этом лучшим сырьем для получения продукта с наибольшей вязкостью оказались растения второго и третьего годов жизни, собранные в августе, сентябре и октябре.

Использованный авторами способ контроля скорости мацерации тканей, происходящей под воздействием термощелочной обработки данного вида водоросли, позволяет сравнивать скорость протекания процессов деградации тканей водорослей при перемене параметров технологического процесса. Он позволяет включить в перечень показателей оценки качества биогеля, получаемого из партий сырья, представленного разновозрастными растениями, собранными в разные периоды вегетации, такой показатель, как уровень дезинтеграции клеток и деструкции оболочек клеток, и на этом основании вести поиск наиболее щадящего способа переработки водорослей, обеспечивающего высокое органолептическое качество биогеля и максимальное содержание в нем в доступной внеклеточной форме полезных для здоровья веществ.

ЛИТЕРАТУРА

Алфимов Н.Н., Петров Ю.Е. 1972. О биологических и биохимических особенностях некоторых ламинариевых и фукусовых водорослей (Phaeophyta) острова Беринга (Командорские острова). *Ботанический журнал*. Т. 57. № 6. С. 697–700.

Аминина Н.М., Клочкова Н.Г. 2002. Перспективы развития производства по переработке водорослей на побережье Камчатки. *Рыболовство России*. № 1. С. 54–56.

Богданов В.Д., Сафронова Т.М. 1993. Структурообразователи и рыбные композиции. М.: ВНИРО. 172 с.

Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Москва. 280 с.

Вишневская Т.И. 2003. Комплексная технология йод- и альгинатсодержащих продуктов из бурых водорослей дальневосточных морей. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Владивосток. 178 с.

Вишневская Т.Н., Саяпина Т.А., Аминина Н.М. 1999. Химический состав и перспективы использования экстрактов из бурых водорослей. *Тезисы докладов Российской научной конференции «Новые биомедицинские технологии с использованием биологически активных добавок»*. Владивосток. С. 10–12.

Вялков А.Н., Козлов В.К., Бобровницкий А.И., Михайлов В.И., Подкорытова А.В., Одинец А.Г., Супрун С.В., Тулупов А.М. 2008. Морские водоросли в восстановительной медицине, комплексной терапии заболеваний с нарушением метаболизма. М.: МДВ. 156 с.

Иванюшина Е.А., Жигадлова Г.Г. 1994. Биология ламинарии *Laminaria bongardiana* на литорали острова Беринга (Командорские острова). *Биология моря*. Т. 20. № 5. С. 374–380.

Камнев А.Н. 1989. Структура и функции бурых водорослей. М.: МГУ. 200 с.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. 1997. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток: Дальнаука. 155 с.

- Клочкова Т.А., Клочкова Н.Г. 2018. Проблемы геносистематики и изменение родовой принадлежности и авторства у видов бурых ламинариевых водорослей *Saccharina bongardiana* и *Saccharina gurjanovae*. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 43. С. 87–95.
- Клочкова Т.А., Климова А.В., Клочкова Н.Г. 2019. Перспективы использования камчатских ламинариевых водорослей в региональном растениеводстве. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 48. С. 90–103.
- Ковалева Е.А. 2000. Разработка технологии пищевых лечебно-профилактических продуктов из ламинарии японской, *Laminaria japonica*. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Владивосток. 192 с.
- Конева А.А., Клочкова Н.Г. 2013. Сезонная динамика общего химического состава у *Saccharina bongardiana* (Laminariales, Rhaeophyta), произрастающей в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Т. 30. С. 82–87.
- Конева Е.Л. 2009. Обоснование и разработка технологий альгинатсодержащих функциональных продуктов. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Владивосток. 150 с.
- Королева Т.Н. 2004. Развитие бурой водоросли *Laminaria bongardiana* Р. et R. в прикамчатских водах. *Диссертация ... канд. биол. наук*. Москва. 185 с.
- Кусиди А.Э. 2007. Биология развития некоторых видов рода *Laminaria* в прикамчатских водах. *Диссертация ... канд. биол. наук*. Петропавловск-Камчатский. 206 с.
- Липатов И.Б. 2004. Разработка технологии и рецептур изделий из бисквитного и дрожжевого теста с использованием альгинатов из ламинарии. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Санкт-Петербург. 121 с.
- Огородников В.С. 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Петропавловск-Камчатский. 25 с.
- Патент № 2041656 РФ. Способ получения пищевого полуфабриката из ламинариевых водорослей. *Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии* (Подкорытова А.В., Ковалева Е.А., Аминина Н.М.).
- Пьянкова А.С. 2012. Получение и использование полисахаридов бурых водорослей. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 20. С. 62–66.
- Разумов А.Н., Бобровницкий И.П., Михайлов В.И., Мостовой С.М., Одинец А.Г., Подкорытова А.В. 2004. Влияние геля из бурых морских водорослей на иммунитет, функцию внутренних органов. Технология изготовления, использования для диетического и лечебно-профилактического питания. М.: Медицина для всех. 239 с.
- Салтанова Н.С., Клочкова Н.Г., Клочкова Т.А., Седельникова А.А. 2019. Обоснование технологии получения альгинатсодержащего продукта из камчатской бурой водоросли *Saccharina bongardiana*. *Материалы X Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование»*. С. 228–232.
- Салтанова Н.С., Мищенко О.В. 2019. Влияние водорослевого геля на хлебопекарные свойства пшеничной муки и технологические свойства дрожжевого теста. *Материалы X Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование»*. С. 223–227.

- Саушкина Л.Н. 2006. Особенности морфологии бурой водоросли *Laminaria bongardiana* Р. et R., связанные с ростом, размножением и условиями обитания. *Диссертация ... канд. биол. наук*. Петропавловск-Камчатский. 151 с.
- Суховерхова М.В., Подкорытова А.В. 2006. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. Владивосток: ТИПРО-Центр. 243 с.
- Суховерхова М.В., Шмелькова Л.П., Кизеветтер И.В. 1981. Промысловые морские водоросли и травы дальневосточных морей. М.: Легкая и пищевая промышленность. 112 с.
- Талабаева С.В. 2006. Обоснование и разработка технологии полисахаридных гидрогелей из морских водорослей и пищевых продуктов на их основе. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Владивосток. 170 с.
- Усов А.И., Чижов О.С. 1988. Химические исследования водорослей. М.: Знание. *Серия: Новое в жизни, науке, технике. Химия*. № 5. 48 с.
- Усов А.И., Смирнова Г.П., Клочкова Н.Г. 2001. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки. *Биоорганическая химия*. Т. 27. № 6. С. 444–448.
- Чмыхалова В.Б., Стрелкова Е.А. 2012. Влияние способов сушки водорослевого сырья, используемого при приготовлении майонезных соусов, на характеристики готового продукта. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 20. С. 75–78.
- Bilan M.I., Klochkova N.G., Shashkov A.S., Usov A.I. 2018. Polysaccharides of Algae 71*. Polysaccharides of the Pacific brown alga *Alaria marginata*. *Russian Chemical Bulletin*. Vol. 67. P. 137–143.

REFERENCES

- Alfimov N.N., Petrov Yu.E. 1972. On the biological and biochemical characteristics of some kelp and fucalean algae (Phaeophyta) of Bering Island (Commander Islands). *Botanicheskiy zhurnal (Botanical journal)*. Vol. 57. № 6. P. 697–700.
- Aminina N.M., Klochkova N.G. 2002. Prospects for the development of algae processing on the coast of Kamchatka. *Rybolovstvo Rossii (Russian fishery)*. № 1. P. 54–56.
- Bogdanov V.D., Safronova T.M. 1993. Structuring agents and fish compositions. Moscow: VNIRO-press. 172 p.
- Vafina L.H. 2010. Justification of the integrated technology for processing of the brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Moscow. 280 p.
- Vishnevskaya T.I. 2003. Integrated technology of iodine and alginate-containing products from the brown algae of the Far Eastern seas. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Vladivostok. 178 p.
- Vishnevskaya T.N., Sayapina T.A., Aminina N.M. 1999. Chemical composition and prospects of using extracts from the brown algae. *Proceedings of Russian scientific conference "New biomedical technologies using biologically active additives"*. Vladivostok. P. 10–12.
- Vyalkov A.N., Kozlov V.K., Bobrovnikskiy A.I., Mihaylov V.I., Podkoryitova A.B., Odinets A.G., Suprun C.B., Tulupov A.M. 2008. Seaweed in rehabilitation medicine, complex therapy of metabolic diseases. Moscow: MDV. 156 p.
- Ivanyushina E.A., Zhigadlova G.G. 1994. Biology of the kelp species *Laminaria bongardiana* from the tidal zone of Bering Island (Commander Islands). *Biologiya morya (Marine biology)*. Vol. 20. № 5. P. 374–380.

- Kamnev A.N. 1989. Structure and functions of the brown algae. Moscow: MSU. 200 p.
- Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. 1997. Algae of Kamchatka's shelf: distribution, biology, chemical composition. Vladivostok: Dalnauka. 155 p.
- Klochkova T.A., Klochkova N.G. 2018. Problems of genesystematics and change of the generic name and authority in the kelp species *Saccharina bongardiana* and *Saccharina gurjanovae*. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 43. P. 87–95.
- Klochkova T.A., Klimova A.V., Klochkova N.G. 2019. Prospects of using laminariacean algae from Kamchatka in the regional horticulture. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 48. P. 90–103.
- Kovaleva E.A. 2000. Development of technology for food treatment and prophylactic products from Japanese kelp, *Laminaria japonica*. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Vladivostok. 192 p.
- Koneva A.A., Klochkova N.G. 2013. Seasonal dynamics of the total chemical composition of *Saccharina bongardiana* (Laminariales, Phaeophyta), growing in the Avacha Bay (southeast Kamchatka). *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoy chasti Tihogo okeana (The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean)*. Vol. 30. P. 82–87.
- Koneva E.L. 2009. Justification and development of technologies of alginate-containing functional products. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Vladivostok. 150 p.
- Koroleva T.N. 2004. Development of the brown alga *Laminaria bongardiana* P. et R. in Kamchatka's waters. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Moscow. 185 p.
- Kusidi A.E. 2007. The biology of developments of some *Laminaria* species from Kamchatka's waters. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 206 p.
- Lipatov I.B. 2004. Development of technology and formulation of products from biscuit and yeast dough using kelp alginates. *Candidacy dissertation for technical sciences*. St. Petersburg. 121 p.
- Ogorodnikov B.C. 2007. Algae-macrophytes from the Northern Kuril Islands. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 25 p.
- Patent № 2041656 RF. Method of obtaining a food semi-finished product from the laminariacean algae. *Pacific Fisheries and Oceanography Research Institute* (Podkoryitova A.V., Kovaleva E.A., Aminina N.M.).
- Pyancova A.S. 2012. Production and utilization of brown algae polysacharides. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 20. P. 62–66.
- Razumov A.N., Bobrovnitskiy I.P., Mihaylov V.I., Mostovoy S.M., Odinets A.G., Podkoryitova A.B. 2004. The effect of brown algae gel on immunity and function of the internal organs. Manufacturing technology and use for dietary and therapeutic nutrition. Moscow: Medicine for everyone. 239 p.
- Saltanova N.S., Klochkova N.G., Klochkova T.A., Sedelnikova A.A. 2019. Production technology of alginate containing product from Kamchatka brown algae *Saccharina bongardiana*. *Proceedings of tenth National (All-Russian) scientific and practical conference "Natural resources, their present condition, protection, in-*

- dustrial and technical use". P. 228–232.
- Saltanova N.S., Mischenko O.V. 2019. The effect of seaweed gel on wheat flour baking properties and technological properties of yeast dough. *Proceedings of tenth National (All-Russian) scientific and practical conference "Natural resources, their present condition, protection, industrial and technical use"*. P. 223–227.
- Saushkina L.N. 2006. Features of the morphology of the brown alga *Laminaria bongardiana* P. et R., associated with growth, reproduction and living conditions. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 151 p.
- Suhoveeva M.V., Podkoryitova A.V. 2006. Commercial algae and sea grasses from the Far Eastern seas: biology, distribution, stocks, processing technology. Vladivostok: TINRO-center. 243 p.
- Suhoveeva M.V., Shmelkova L.P., Kizevter I.V. 1981. Commercial seaweed and sea grasses from the Far Eastern seas. Moscow: Legkaya i pischevaya promyshlennost (Light and food industry). 112 p.
- Talabaeva S.V. 2006. Justification and development of technology of seaweed polysaccharide-containing hydrogels and hydrogels-containing food products. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Vladivostok. 170 p.
- Usov A.I., Chizhov O.S. 1988. Chemical studies of algae. Moscow: Znanie. *Seriya: Novoye v zhizni, nauke, tekhnike. Himiya (Series: New in life, science, technology. Chemistry)*. № 5. 48 p.
- Usov A.I., Smirnova G.P., Klochkova N.G. 2001. Polysaccharide composition of some brown algae from Kamchatka. *Bioorganicheskaya himiya (Bioorganic chemistry)*. Vol. 27. № 6. P. 444–448.
- Chmihalova V.B., Strelcova E.A. 2012. Influence of raw algae drying methods used for mayonnaise juice cooking on qualitative characteristics of ready product. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 20. P. 75–78.
- Bilan M.I., Klochkova N.G., Shashkov A.S., Usov A.I. 2018. Polysaccharides of Algae 71*. Polysaccharides of the Pacific brown alga *Alaria marginata*. *Russian Chemical Bulletin*. Vol. 67. P. 137–143.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, проректор по научной работе и международной деятельности, профессор кафедры «Экология и природопользование»; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, AuthorID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Vice-rector for Scientific Work and International Communications, Professor of Ecology and Nature Management Chair; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, AuthorID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Салтанова Наталья Сергеевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук, начальник отдела науки и инноваций, доцент кафедры «Технологии пищевых производств»; saltanova-ns@yandex.ru. SPIN-код: 4624-8342, AuthorID: 428333.

Saltanova Natalia Sergeevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Head of Science and Innovations Division; Associate Professor of Technology of Food Processing Chair; saltanova-ns@yandex.ru. SPIN-код: 4624-8342, AuthorID: 428333.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДИФИКАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА (ЛИСТОВОГО КАШТАНОВОГО ОПАДА)

Святченко А.В., Сапронова Ж.А., Свергузова С.В., Порожнюк Е.В., Лупандина Н.С.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

В работе исследовано влияние температуры термообработки листового каштанового опада (ЛКО) на структурные и сорбционные свойства адсорбента. Сравнение величины удельной поверхности полученных материалов показало, что термообработка не только увеличивает общее количество пор, но и изменяет распределение пор по размерам. С повышением температуры обработки образцов величина $S_{уд}$ ЛКО возрастает от 2,6 до 27,9 м²/г, т. е. в 10,7 раза. Было установлено, что оптимальным температурным диапазоном проведения модификации является 200–250°C. Установлено, что при указанных параметрах термообработки возрастает площадь удельной поверхности материала при частичном сохранении общей структуры древесного листа. При проведении термообработки в указанных условиях эффективность водоочистки является максимальной (91 и 97%)*.

Ключевые слова: веретенное масло, листовой опад, нефтепродукты, очистка, сточные воды.

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS FOR THE MODIFICATION OF CELLULOSE-CONTAINING SORPTION MATERIAL (CHESTNUT LEAF LITTER)

Svyatchenko A.V., Sapronova Zh.A., Sverguzova S.V., Porozhnyuk E.V., Lybandina N.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Kostyukova Str. 46.

The effect of heat treatment temperature on the structural and sorptional properties of sorption material such as chestnut leaf litter (CLL) was studied. Comparison of the specific surface area of the obtained materials showed that heat treatment not only increased the total pores number, but also changed the pore size distribution. With an increase of sample processing temperature, the specific surface area value of CLL increased from 2.6 to 27.9 m²/g (10.7 times). As we found, the optimal temperature range for carrying out modification was 200–250°C. As shown, with the indicated parameters of heat treatment, the surface area of the material increased with partial preservation of the wood leaf overall structure. When performing heat treatment under these conditions, the efficiency of water treatment reached its maximum (91 and 97%).

Key words: spindle oil, leaf litter, oil products, purification, wastewater.

* Работа выполнена в БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе им. В.Г. Шухова, а также при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук – и ведущих научных школ Российской Федерации, номер заявки МД-1249.2020.5. Все эксперименты выполнены на оборудовании Центра высоких технологий БГТУ.

ВВЕДЕНИЕ

Для мировой экономики нефтяная отрасль является ведущей. В Мировом океане в настоящее время нефть и нефтепродукты (НП) являются наиболее распространенными загрязняющими веществами. Они попадают в окружающую среду при нефтедобыче, транспортировке и переработке [Степаньян и др., 2018], а также при авариях танкеров, прорывах трубопроводов и др. [Грузинова и др., 2016]. Считается, что в морские воды ежегодно поступает до 6 млн т нефтяных углеводородов, из которых более 1,8 млн т ежегодно выносятся в морские и океанические воды реками. Их влияние на водные экосистемы и состояние гидробионтов проявляется в виде непосредственного изменения среды обитания, отравления живых организмов и нарушения их физиологической активности. В настоящее время нефтяное загрязнение распространено по всему Мировому океану, при этом 2–4% водной поверхности Тихого и Атлантического океанов постоянно покрыто нефтяной пленкой [Рубанов и др., 2010; Климова и др., 2014; Очеретяня и др., 2015].

Очистка сточных вод от разных НП является важной экологической задачей. Ее осуществляют различными способами. Известны механические, химические, физико-химические, реагентные и биологические методы очистки. Одним из широко распространенных и эффективных способов очистки сточных вод от НП является сорбционный. Его достоинством является высокая эффективность, а также возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, при этом степень адсорбционной очистки в зависимости от химической природы веществ может достигать 95% [Фазуллин и др., 2015]. Ее оп-

ределяют также качество адсорбента, площадь адсорбционной поверхности и ее доступность. Необходимо отметить, что адсорбенты способны извлекать из воды органические загрязнения, удалить которые другим способом, например методами биологической очистки, невозможно [Сагопова и др., 2019].

Исследования в области сорбционной очистки воды ведутся как в направлении совершенствования свойств сорбционной поверхности, так и в направлении поиска новых, дешевых и эффективных сорбентов, особенно из отходов промышленности [Свергузова и др., 2014]. В качестве сорбентов часто применяют активированный уголь, коксовую мелочь, торф, коалин, опилки, золу, различные синтетические материалы [Сакалоза и др., 2014; Шайхиев, 2017]. Наряду с целлюлозосодержащими отходами (древесные опилки, кора) весьма перспективным сорбционным материалом является листовая опад различных пород деревьев [Степанова и др., 2013]. Каждую осень с территории городов Российской Федерации вывозят и захоранивают на полигонах тысячи тонн листового опада. С точки зрения рационального использования природных ресурсов такое обращение с перспективным сорбционным материалом является экономически и экологически неоправданным.

Целью нашей работы являлось установление возможности использования модифицированного листового каштанового опада для извлечения нефтепродуктов из водных сред и определение оптимальных параметров водоочистки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали сорбент, полученный из листового каштанового опада без и после термической обработки. Термообработку

измельченного листового каштанового опада осуществляли при разных температурах в муфельной печи LoipLF-7/13-G2 (Россия) в течение 20 минут. Для изучения сорбционных способностей использовали термомодифицированные образцы, полученные при термообработке листового опада до 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500°C.

Для проведения экспериментов использовали изготавливаемое путем перегонки из нефтепродуктов индустриальное (веретенное) масло марки И-20А, $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ при 20°C. Благодаря своим свойствам, веретенное масло гарантирует оптимальную работу гидравлических приводов в диапазоне температур от -35°C до 100°C. В сточные воды оно попадает в процессе эксплуатации и мойки промышленного оборудования.

Для извлечения из водных эмульсий веретенного масла использовался измельченный в порошок нативный и термообработанный каштановый листовой опад, собранный на территории г. Белгорода.

Эмульсии веретенного масла готовили путем его добавления в водопроводную воду в количестве 0,1 г на 1 000 мл. Для очистки 100 мл эмульсии использовали 0,3 г сорбента, прошедшего разную термообработку (в интервале температур 100–300°C). Смесь перемешивали в течение 20 минут при температуре 20°C, затем фильтровали через обеззоленные бумажные фильтры «белая лента». В профильтрованной эмульсии определяли остаточную мутность. Все эксперименты были проведены в 3-кратной повторности.

Поверхность нативного и термически модифицированного сорбента исследовали под сканирующим электронным микроскопом Tescan MIRA 3 LMU (компания Tescan, Чехия). Для оценки величины его удельной поверхности по методу Брюнера – Эммета – Теллера (метод БЭТ) низко-

температурной адсорбции азота использовали прибор Sorbi-MS (Россия). Метод БЭТ позволяет косвенно определить удельную поверхность адсорбента, а константа БЭТ характеризует взаимодействие адсорбента и адсорбата, ее знак указывает на применимость или неприменимость данной модели.

Лазерный гранулометрический анализ тонкодисперсных порошковых материалов осуществляли прибором MicroSizer-201 (Россия). Содержание НП в загрязненной воде анализировали турбидиметром HI 98703 (Hanna Instruments, Россия). Величину мутности выражали в единицах NTU.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Адсорбционные процессы происходят на поверхности сорбента, поэтому важнейшим показателем поглотительных свойств является величина его удельной поверхности ($S_{уд}$). Константа БЭТ характеризует взаимодействие адсорбента и адсорбата, определяет энергию адсорбции в слое. В таблице 1 представлены значения удельной поверхности сорбента ЛКО после разной термообработки.

Полученные в наших экспериментах значения удельной поверхности заметно ниже, чем у активированных углей [Bergna et al., 2018], однако они сравнимы с таковыми у других сорбентов, полученных на основе различных промышленных отходов. Так, среднее значение удельной поверхности частиц отхода валяльно-войлочного производства (кнопа) составило $63,34 \text{ м}^2/\text{г}$ [Галимова, 2017]. Судя по данным, представленным в другой работе [Вураско и др., 2019], для технической целлюлозы средние показатели $S_{уд}$ составили только $18,0 \text{ м}^2/\text{г}$. У минерального сорбента АПТ-1 они оказались еще ниже – $15,68 \text{ м}^2/\text{г}$ [Маунг, 2018].

Таблица 1. Удельная поверхность ($S_{уд}$) образцов сорбента, прошедших разную термообработку

Table 1. Specific surface area of sorbent samples subjected to different heat treatment

Температура обработки, t , °C	Масса образца, г	Влажность сорбента после термообработки, %	Константа БЭТ	Коэффициент корреляции расчетных значений с экспериментальными адсорбционными данными	$S_{уд}$, m^2/g
100	0,385	4,80	2	0,4297	$2,6 \pm 1,6$
200	0,385	2,50	19	0,9857	$4,0 \pm 0,4$
300	0,454	3,00	48	0,9979	$17,6 \pm 0,6$
400	0,395	2,70	88	0,9991	$24,8 \pm 0,6$
500	0,434	2,40	46	0,9998	$27,9 \pm 0,4$

Визуальная оценка материала показала, что при 250°C начинается его интенсивная карбонизация, а при температуре 400°C значительная часть листьев превращается в золу. Несмотря на то, что полученный углеродистый материал, вероятно, обладает высокими показателями сорбционной емкости, такая интенсивная термообработка представляется нерациональной, поскольку количество результирующего материала при этом составляет небольшую часть исходной массы листьев, а энергозатраты на термомодификацию довольно велики.

Ввиду вышесказанного мы проводили последующие исследования по модификации исходного листового опада при температурах, не превышающих 250°C. Его основным химическим компонентом является целлюлоза, процессы деструкции которой, судя по литературным данным [Роговин и др., 1953], происходят в температурном диапазоне 200–250°C, однако при этом не происходит полного распада макромолекулы.

Как видно из представленных в таблице 1 результатов, с повышением температуры обработки сорбента величина $S_{уд}$ возрастает от 2,6 до 27,9 m^2/g , то есть в 10,7 раза. Очевидно, это связано с изменением формы и размеров частиц сорбента и увеличением их пористости.

Диаграмма интегрального и дифференциального распределения частиц порошка, полученного из ЛКО, обработанно-

го при 250°C, показала, что основное количество частиц в порошкообразном сорбенте имеют размеры от 5 до 100 мкм (рис. 1).

Интегральная кривая распределения частиц отображает зависимость объемной доли конкретной фракции от их размера, а дифференциальная кривая дает представление об их распределении в системе по размерам.

При термообработке возрастает не только общее количество пор, но и изменяется их распределение по размерным группам (рис. 2). При этом основной размер пор указанных образцов соответствует диаметру 51,4 нм для ЛКО₁₀₀ и 142,3 нм для ЛКО₂₅₀.

Методом сканирующей электронной микроскопии были получены изображения микрорельефа поверхности частиц листового опада. Из микрофотографий, представленных на рисунке 3, следует, что при увеличении температуры термообработки поверхность частиц ЛКО становится более рельефной, развитой, увеличивается количество пор, впадин, неровностей, растет общая шероховатость поверхности и ее дефектность.

Основным продуктом, выделяющимся в ходе термообработки листового опада, является вода [Роговин и др., 1953]. Отмечается, что при 250°C увеличивается содержание двухвалентных химических связей C=C и C=O (согласно пикам на ИК-спектре) в макромолекулах органических веществ, одновременно снижается количество –ОН групп [Байклз и др., 1974].

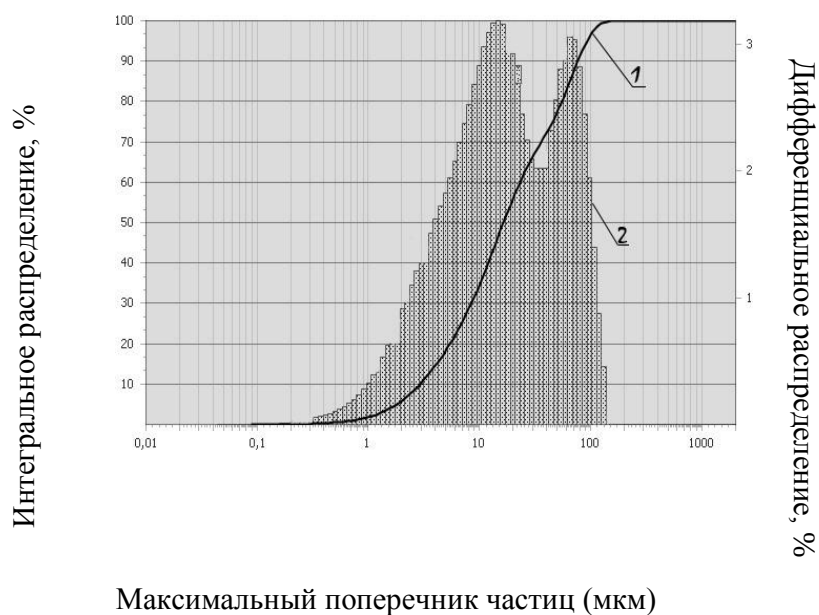


Рис. 1. Интегральное и дифференциальное распределение размеров частиц порошкообразного сорбента, прошедшего термообработку при 250°C: 1 – интегральная кривая; 2 – дифференцированная кривая

Fig. 1. Integral and differential particle size distribution of the powdered sorbent subjected to different heat treatment at 250°C: 1 – integral curve; 2 – differential curve

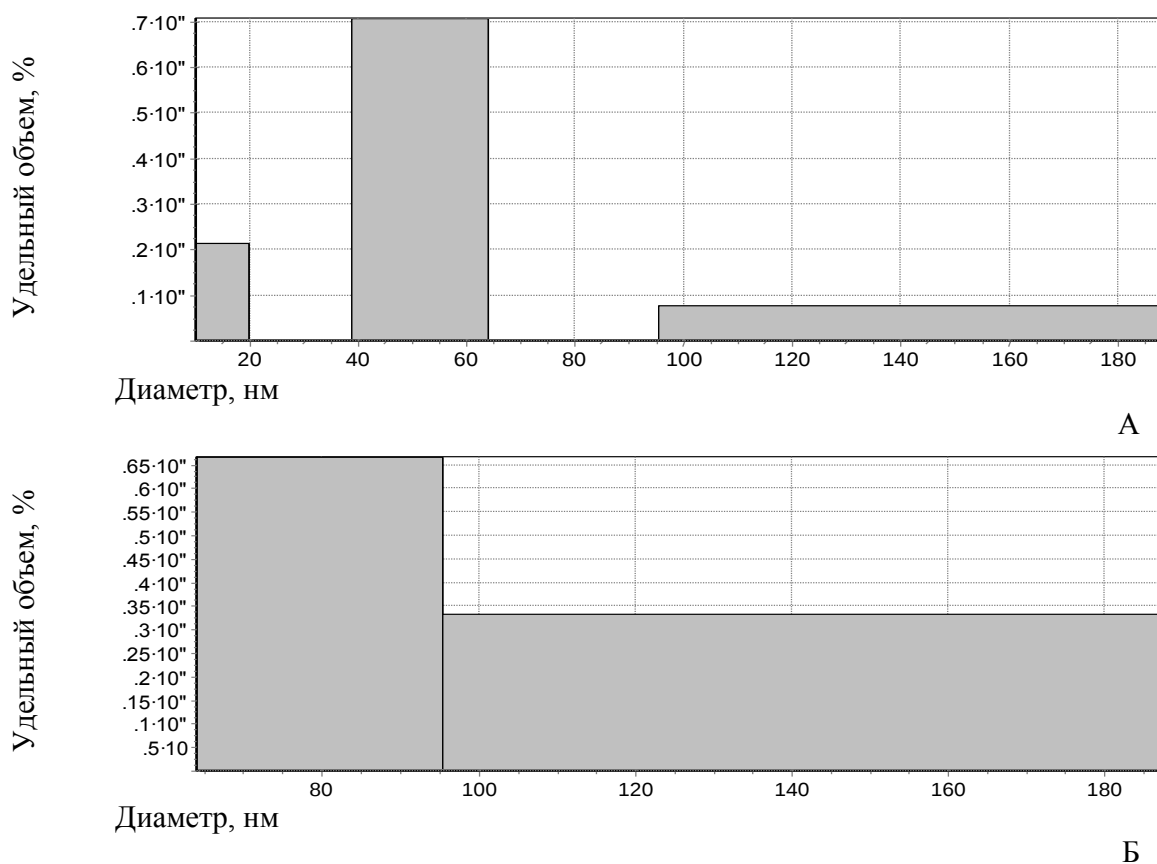


Рис. 2. Изменение распределения пор по размерам в зависимости от температуры обжига листового каштанового опада при температурах 100°C (А) и 250°C (Б)

Fig. 2. Change in pore size distribution depending on the chestnut leaf litter treatment temperature: at 100°C (A) and 250°C (B)

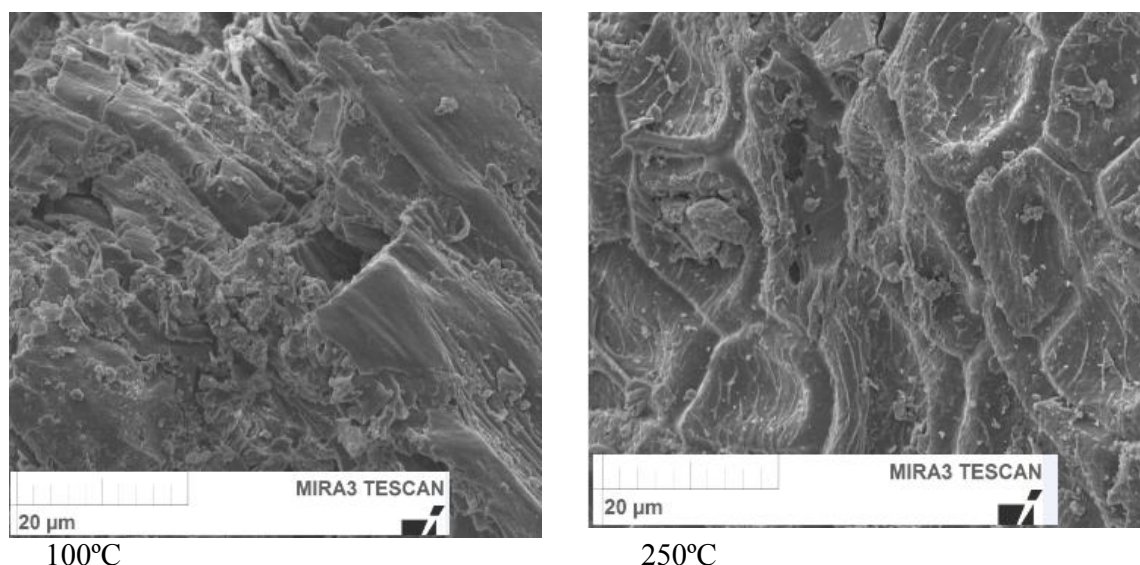


Рис. 3. Сканирующие электронные микрофотографии поверхности частиц сорбента, полученного при разной термообработке

Fig. 3. Scanning electron microphotographs of surface of the sorbent particles obtained by different heat treatment

При температурах выше 275°C начинается интенсивный распад макромолекул с выделением различных газообразных продуктов [Роговин и др., 1953]. Исходя из вышесказанного, можно предполагать, что листовой опад, обработанный при температуре, близкой к 250°C, должен проявлять хорошие сорбционные свойства.

Для подтверждения нашего предположения мы провели очистку эмульсии, содержащей индустриальное веретенное масло в концентрации 1 г/дм³. Влияние температуры термообработки листового опада на эффективность очистки маслосодержа-

щей эмульсии представлено в таблице 2. Высокая эффективность очистки (91 и 97%) достигается уже при температуре термообработки 200 и 250°C соответственно, при дальнейшем повышении температуры эффективность очистки практически не увеличивается. Следовательно, рекомендуемой температурой для обработки ЛКО следует считать температуру 250°C, при которой осуществляется отщепление молекул воды в целлюлозе и перегруппировка химических связей, однако не происходит полной деструкции макромолекулы [Роговин и др., 1953; Байклз и др., 1974].

Таблица 2. Влияние температуры термообработки листового каштанового опада на эффективность очистки модельных эмульсий от индустриального масла

Table 2. The effect of chestnut leaf litter heat treatment temperature on the efficiency of cleaning model emulsions from industrial oil

Температура обработки, °C	Эффективность очистки, %
50	45
100	67
150	88
200	91
250	97
300	98

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных нами экспериментов установлена возможность использования листового каштанового опада для извлечения нефтепродуктов из загрязненных вод. Изучение сорбционных свойств сорбента, изготовленного при разной термообработке ЛКО, показало, что его термомодификация в целом приводит к значительному увеличению удельной поверхности сорбента и перераспределению размеров пор в материале в сторону увеличения. Оптимальным интервалом для термообработки следует считать температуру 200–250°C. Использование сорбционного материала, обработанного при 200°C, позволяет достигать эффективности очистки 91%, а обработка при 250°C приводит к повышению эффективности очистки до 97%.

Практическое внедрение технологии получения сорбента из листового каштанового опада могло бы способствовать решению экологической проблемы, позволило бы снизить техногенную нагрузку на водные экосистемы вследствие повышения эффективности водоочистки.

ЛИТЕРАТУРА

- Байклз Н., Сегал Л. 1974. Целлюлоза и ее производные. Т. 1. М.: Мир. 499 с.
- Вураско А.В., Симонова Е.И., Минакова А.Р. 2019. Сорбционные материалы на основе технической целлюлозы из соломы и шелухи риса. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. № 226. С. 139–154.
- Галимова Р.З. 2017. Очистка фенолсодержащих сточных вод нативными и модифицированными адсорбционными материалами на основе отходов сельскохозяйственного и промышленного производства. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Казань. 128 с.
- Грузинова В.Л., Новикова О.К. 2016. Технология извлечения нефтепродуктов из сточных вод локомотивного депо. *Наука и образование транспорту*. № 2. С. 112–114.
- Климова А.В., Касперович Е.В., Кусиди А.Э., Ключкова Н.Г. 2014. Бурая водоросль *Saccharina bongardiana* как показатель экологического состояния мест нефтяного загрязнения в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 29. С. 65–75.
- Маунг К.К. 2018. Экспериментальное исследование сорбционных технологий для очистки сточных вод от нефтепродуктов на тепловых электростанциях Мьянмы. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Москва. 134 с.
- Очеретяна С.О., Ключкова Н.Г., Ключкова Т.А. 2015. Сезонный состав «зеленых приливов» в Авачинской губе и влияние антропогенного загрязнения на физиологию и рост некоторых зеленых водорослей. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 33. С. 30–36.
- Роговин З.А., Шорыгина Н.Н. 1953. Химия целлюлозы и ее спутников. М.: Госхимиздат. 679 с.
- Рубанов Ю.К., Старостина И.В., Блайдо Е.В., Флорес А.М. 2010. Использование отходов металлургического производства для удаления нефтепродуктов с поверхностей воды и почвы. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. № 17. С. 132–134.
- Сакалова Г.В., Свергузова С.В., Мальованый М.С. 2014. Эффективность очистки сточных вод гальванического производства адсорбционным методом. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. № 4. С. 153–156.

- Свергузова С.В., Ипанов Д.Ю., Суханов Е.В. 2014. Адсорбционные свойства пыли электродуговых сталеплавильных печей (ЭДСП). *Труды XXII Международной научно-практической конференции «Казантип-ЭКО-2014. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения»*. С. 79–81.
- Степаньян О.В., Кулыгин В.В. 2018. Влияние разливов нефти на прибрежно-водные и водные растения Азовского моря: модельный эксперимент. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 46. С. 114–122.
- Степанова С.В., Шаймарданова А.Ш., Шайхиев И.Г. 2013. Опад березы и ее химические модификаты для удаления нефти. *Вестник Казанского технологического университета*. Т. 16. № 14. С. 215–217.
- Шайхиев И.Г. 2017. Использование компонентов деревьев рода *Quercus* в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из воды. Обзор литературы. *Вестник Казанского технологического университета*. Т. 20. № 5. С. 151–160.
- Фазуллин Д.Д., Марвин Г.В., Шайхиев И.Г. 2015. Сорбенты для очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты. *Журнал экологии и промышленности безопасности*. № 1–2. С. 60–63.
- Bergna D., Varila T., Romar H., Lassi U. 2018. Comparison of the properties of activated carbons produced in one-stage and two-stage processes. *Journal of Carbon Research*. № 4. P. 41.
- Sapronova Zh., Sverguзова S., Svyatchenko A. 2019. Use of municipal vegetative waste as raw material for sorbent production. *International conference on construction, architecture and technosphere safety* “IOP Conf. Series: materials, science and engineering”. Vol. 687 (066061).
- ### REFERENCES
- Bikels N., Segal L. 1974. Cellulose and its derivatives. Vol. 1. Moscow: Mir. 499 p.
- Vurasko A.V., Simonova E.I., Minakova A.R. 2019. Sorption materials based on technical pulp from straw and husk of rice. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy)*. № 226. P. 139–154.
- Galimova R.Z. 2017. Purification of phenol-containing wastewater with native and modified adsorption materials based on agricultural and industrial waste. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Kazan. 128 p.
- Gruzina V.L., Novikova O.K. 2016. Technology for the petroleum products extraction from wastewater of a locomotive depot. *Nauka i obrazovanie transportu (Science and Education for Transport)*. № 2. P. 112–114.
- Klimova A.V., Kasperovich E.V., Kusidi A.E., Klochkova N.G. 2014. Brown alga *Saccharina bongardiana* as an indicator of the oil pollution ecological status in the Avacha Bay (southeastern Kamchatka). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of the Kamchatka State Technical University)*. № 29. P. 65–75.
- Maung K.K. 2018. Experimental study of sorption technologies for wastewater treatment from oil products at Myanmar thermal power plants. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Moscow. 134 p.
- Ocheretyana S.O., Klochkova N.G., Klochkova T.A. 2015. Seasonal composition of “green tides” in the Avacha Bay and the anthropogenic pollution impact

- on the physiology and growth of some green algae. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 33. P. 30–36.
- Rogovin Z.A., Shorygina N.N. 1953. Chemistry of cellulose and its satellites. Moscow: Goskhimizdat. 679 p.
- Rubanov Yu.K., Starostina I.V., Blydo E.V., Flores A.M. 2010. The use of metallurgical waste for petroleum products removal from water and soil surfaces. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura (Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: construction and architecture)*. № 17. P. 132–134.
- Sakalova G.V., Sverguzova S.V., Malovany M.S. 2014. The efficiency of wastewater treatment of galvanic production by the adsorption method. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova (Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov)*. № 4. P. 153–156.
- Sverguzova S.V., Ipanov D.Yu., Sukhanov E.V. 2014. Adsorption properties of dust from electric arc steelmaking furnaces (EDSP). *Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference "Kazantip-ECO-2014. Innovative ways to solve pressing problems of basic industries, ecology, energy and resource conservation"*. P. 79–81.
- Stepanyan O.V., Kulygin V.V. 2018. Oil spills effect on coastal and aquatic plants of the Azov Sea: a model experiment. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 46. P. 14–122.
- Stepanova S.V., Shaimardanova A.Sh., Shaykhiev I.G. 2013. Litter of birch and its chemical modifiers for oil removal. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta (Bulletin of Kazan Technological University)*. Vol. 16. № 14. P. 215–217.
- Shaikhiev I.G. 2017. Using the components of Quercus trees as sorption materials to remove pollutants from water. Literature review. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta (Bulletin of Kazan Technological University)*. Vol. 20. № 5. P. 151–160.
- Fazullin D.D., Marvin G.V., Shaikhiev I.G. 2015. Sorbents for wastewater treatment containing petroleum products. *Zhurnal ehkologii i promyshlennosti bezopasnosti (Journal of Ecology and Safety Industry)*. № 1–2. P. 60–63.
- Bergna D., Varila T., Romar H., Lassi U. 2018. Comparison of the properties of activated carbons produced in one-stage and two-stage processes. *Journal of Carbon Research*. № 4. P. 41.
- Sapronova Zh., Sverguzova S., Svyatchenko A. 2019. Use of municipal vegetative waste as raw material for sorbent production. *International conference on construction, architecture and technosphere safety "IOP Conf. Series: materials science and engineering"*. Vol. 687 (066061).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Святченко Анастасия Владимировна – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; 308012, Россия, Белгород; аспирант; старший преподаватель кафедры промышленной экологии; sv.anastasiaa@mail.ru, svatchenko.av@bstu.ru. SPIN-код: 5123-7514; AuthorID: 1064387; Scopus ID 57202818585.

Svyatchenko Anastasia Vladimirovna – Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov; 308012, Russia, Belgorod; Postgraduate Student; Senior Lecturer of the Industrial Ecology Chair;

sv.anastasiaa@mail.ru, svatchenko.av@bstu.ru. SPIN-код: 5123-7514; AuthorID: 1064387; Scopus ID 57202818585.

Сапронова Жанна Ануаровна – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; 308012, Россия, Белгород; доктор технических наук; профессор кафедры промышленной экологии; pe@intbel.ru, sapronova.za@bstu.ru. SPIN-код: 7817-4790; AuthorID: 747166; Scopus ID 57196035885.

Sapronova Zhanna Anyarovna – Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov; 308012, Russia, Belgorod; Doctor of Technical Sciences; Professor of Industrial Ecology Chair; pe@intbel.ru, sapronova.za@bstu.ru. SPIN-код: 7817-4790; Author ID: 747166; Scopus ID: 57196035885.

Свергузова Светлана Васильевна – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; 308012, Россия, Белгород; доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии; pe@intbel.ru, sverguzova.sv@bstu.ru. SPIN-код: 1596-2118; Author ID: 143743; Scopus ID: 12039869000.

Sverguzova Svetlana Vasilevna – Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov; 308012, Russia, Belgorod; Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Industrial Ecology Chair; pe@intbel.ru, sverguzova.sv@bstu.ru. SPIN-код: 1596-2118; Author ID: 143743; Scopus ID: 12039869000.

Порожнюк Егор Владимирович – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; 308012, Россия, Белгород; соискатель кафедры промышленной экологии, lporozhnyuk@yandex.ru. Scopus ID: 57196032710.

Porojnyuk Egor Vladimirovich – Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov; 308012, Russia, Belgorod; Applicant of Industrial Ecology Chair; lporozhnyuk@yandex.ru. Scopus ID: 57196032710.

Лупандина Наталья Сергеевна – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; 308012, Россия, Белгород; кандидат технических наук; доцент кафедры промышленной экологии; ecnata@mail.ru. SPIN-код: 1485-7987; Author ID: 659832; Scopus ID: 56500666600.

Lypandina Nataliya Sergeevna – Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov; 308012, Russia, Belgorod; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Industrial Ecology Chair; ecnata@mail.ru. SPIN-код: 1485-7987; Author ID: 659832; Scopus ID: 56500666600.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ) В 2017–2018 гг.

Авдощенко В.Г., Климова А.В.

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский,
ул. Ключевская, 35.

В работе представлены результаты определения содержания цинка, меди и свинца в почвенном покрове территорий г. Петропавловск-Камчатского в летний период 2017–2018 гг. Валовое содержание меди в почвах города существенно не отличалось от геохимического фона юго-восточной Камчатки. В 2017–2018 гг. ее концентрация варьировала в диапазоне от 12,68 мг/кг до 42,36 мг/кг. Наибольшее содержание меди в 2017 г. было выявлено в районе «Автостанция 10-й км», в 2018 г. – «Ботанический переулок». Наименьшее ее содержание в 2017 г. и в 2018 г. отмечено в районе «Стадион “Спартак”». Содержание цинка в почвах города в 2017–2018 гг. изменялось в пределах 7,03–64,54 мг/кг. Наибольшее его содержание в 2017 г. было выявлено в районе «Краевая библиотека», в 2018 г. – «Госпиталь». В 2017 г. район «Стадион “Спартак”» характеризовался наименьшим содержанием цинка, в 2018 г. – «Автостанция 10-й км». Для всех исследуемых районов, исключая фоновый участок, отмечено значительное превышение геохимического фона свинца. Диапазон его содержания в 2017–2018 гг. составлял 8,80–309,80 мг/кг. Среди районов наибольшая концентрация свинца наблюдалась на участках: «Госпиталь» (2017 г.) и «Ботанический переулок» (2018 г.), наименьшая – «Стадион “Спартак”» (2017 г.) и «Автостанция 10-й км» (2018 г.).

Ключевые слова: медь, металлическое загрязнение, Петропавловск-Камчатский, свинец, почва, тяжелые металлы, урбанизированные территории, цинк.

CONTENTS OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY (KAMCHATKA TERRITORY) IN 2017–2018

Avdoshchenko V.G., Klimova A.V.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

The paper presents the results of determining the content of zinc, copper and lead in the soil cover of the territories of Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer period of 2017–2018. The total copper content in the city's soils did not differ significantly from the geochemical background of South-Eastern Kamchatka. In 2017–2018, its concentration ranged from 12.68 mg/kg to 42.36 mg/kg. The highest copper content in 2017 was found in the area of “Bus terminal 10 km”, in 2018 – “Botany lane”. The lowest content in 2017 and 2018 was observed in the Spartak stadium district. The zinc content in the city's soils in 2017–2018 varied in the range of 7.03–64.54 mg/kg. The largest content in 2017 was found in the district “Regional library”, in 2018 – “Hospital”. In 2017, the area “Spartak stadium” was characterized by the lowest zinc content, in 2018 – “Bus terminal”. For all the studied areas, excluding the background area, a significant excess of the geochemical background of lead was observed. The range of its content in 2017–2018 was 8.80–309.80 mg/kg. Among the districts, the highest concentration of lead was observed in 2017 at the “Hospital” site, in 2018 – “Botany lane”, the smallest in 2017 – “Spartak Stadium”, in 2018 – “Bus terminal”.

Key words: copper, metal pollution, Petropavlovsk-Kamchatsky, lead, soil, heavy metals, urbanized territories, zinc.

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы повсеместно распространены в окружающей среде. Они относятся и приоритетной группе загрязнителей, являющихся факторами деградации компонентов экосистемы [Sharma, Singh, 2015; Коновалова, 2018]. Некоторые из них относятся к необходимым элементам для всех живых организмов. Однако в условиях урбанизированных территорий поступление тяжелых элементов в окружающую среду происходит ежедневно и часто в избыточных концентрациях, что в конечном счете приводит к загрязнению всех компонентов экосистем, в том числе почвенного покрова [Davydova, 2005].

Почва – своеобразное «депо» токсичных металлов, поступление которых происходит из атмосферы, с мертвой органикой и в результате деятельности человека. Избыточное привнесение их в эдафотопы городской среды связано в большей степени с антропогенной деятельностью, но существенную роль могут играть и природные источники, например вулканическая деятельность, природные пожары и т. п. [Медведев, Деревягин, 2017; Лукманов, 2018]. Действие металлического загрязнения может распространяться на десятки километров от источника его поступления. Это связано, главным образом, с преимущественной приуроченностью поллютантов к пылевой фракции выбросов, а также обусловлено метеорологическими условиями и рельефом конкретной местности [Корчагина, 2014].

Город Петропавловск-Камчатский (ПКГО) – крупнейший населенный пункт Камчатки, именно здесь сконцентрированы большая часть населения и производственная мощность края, от чего напрямую зависит количество поступающих в почву

загрязнителей, включая тяжелые металлы. Существенным и специфическим фактором привнесения их в окружающую среду ПКГО является вулканическая активность. Почвенный покров города находится в локальной зоне выпадения молодых пеплов действующих вулканов (Авачинского и Корякского), что способствует формированию узко специфичных участков [Карпачевский и др., 2009]. Почвы города относятся к юго-восточной провинции и сформированы в андезито-базальтовых пеплах вулкана Ксудач [Литвиненко, Захарихина, 2008]. От состава пеплов зависит количество избыточных элементов в вулканических почвах. Все почвенные провинции Камчатки характеризуются устойчивой медной специализацией и повышенным содержанием цинка в вулканических почвах [Захарихина, Литвиненко, 2018, 2019б]. Геохимический фон цинка для юго-восточного района Камчатки составляет 65,31 мг/кг, меди – 33,83 мг/кг. Среднее содержание свинца в почвах региона не превышает 9,82 мг/кг [Захарихина, Литвиненко, 2019а, 2019б].

Поступление тяжелых металлов антропогенной природы в почвенный покров города связано с выбросами предприятий теплоэнергетики, которые включают 39 котельных и две теплоэлектроцентрали. На большинстве котельных городского округа в качестве основного топлива используется топочный мазут, при сжигании которого окислы азота и серы, окись углерода, сажа, бенз(а)пирен, тяжелые металлы и другие токсичные вещества поступают в атмосферу [Постановление № 2603..., 2019].

По данным УМВД России по Камчатскому краю, в 2018 г. в Камчатском крае зарегистрировано 216 634 единицы транспортных средств, большая часть автотранспорта приходится на город Петро-

павловск-Камчатский. В выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания содержатся окись углерода, окись азота, углеводороды, альдегиды, сажа, бенз(а)пирен, тяжелые металлы и другие загрязняющие вещества. Кроме того, на территории Петропавловска-Камчатского повсеместно встречаются места складирования отходов разного состава и происхождения, включая металлолом [Доклад о состоянии..., 2019]. В зависимости от уровня техногенной нагрузки и особенностей экологических факторов содержание тяжелых металлов в разных районах города может значительно отличаться.

Настоящее исследование было направлено на выявление степени металлического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского в 2017–2018 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор почвенных проб проводили в 2017 и 2018 годах в летний период в следующих районах г. Петропавловска-Камчатского:

«Автостанция 10-й км»

(53°04'13.1"N, 158°35'34.5"E),

«Краевая библиотека»

(53°03'58.0"N, 158°37'18.8"E),

«Ботанический переулок»

(53°02'59.6"N, 158°39'21.2"E),

«Стадион “Спартак”»

(53°01'54.1"N, 158°39'06.4"E),

«Госпиталь»

(52°58'29.5"N, 158°41'42.7"E) (рис. 1).

Дополнительно за пределами города, близ озера Синичкино, был выделен фоновый участок (53°04'39.1"N, 158°41'24.9"E).

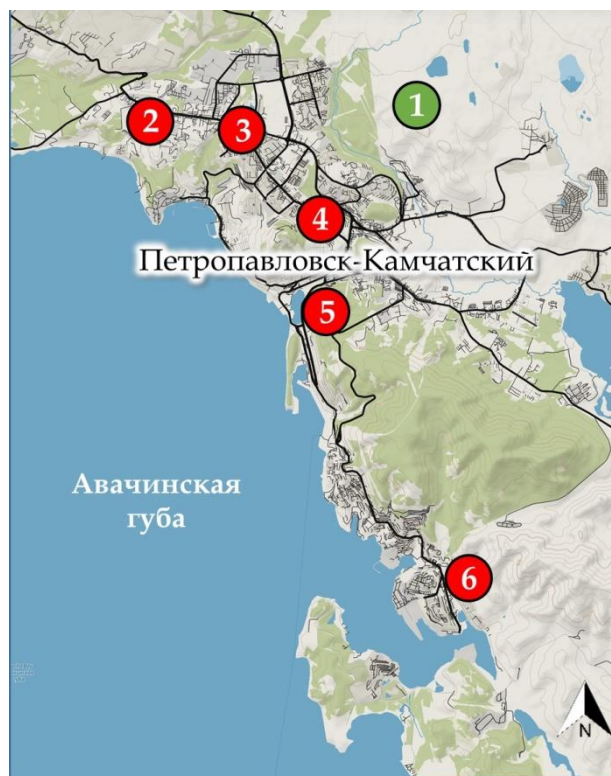


Рис. 1. Карта-схема районов отбора почвенных образцов в г. Петропавловске-Камчатском в 2017–2018 гг.: 1 – фоновый участок, 2 – район «Автостанция 10-й км», 3 – район «Краевая библиотека», 4 – район «Ботанический переулок», 5 – район «Стадион “Спартак”», 6 – район «Госпиталь»

Fig. 1. Soil sampling stations in Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017–2018: 1 – background site, 2 – Bus terminal 10 km, 3 – Regional library, 4 – Botanic lane, 5 – Spartak Stadium, 6 – Hospital

Отбор почвенных образцов осуществляли на глубине 0–20 см методом «конверта» путем осреднения материала из пяти частных проб [Методические указания ..., 1992]. Подготовку проб к анализу, минерализацию и количественное определение металлов в образцах проводили на базе сектора коллективного использования научного оборудования ФГБОУ ВО «КамчатГТУ». Часть почвенных проб, собранных в 2017 г., дополнительно анализировали в лаборатории ФГБУ ЦАС «Камчатский» методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Все отобранные пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Кислотное озоление почвенного материала проводили в системе разложения проб Milestone Ethos UP. Химический анализ выполняли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой Agilent MP-AES 4200. Вычисление концентраций элементов (Cu, Zn и Pb) в пробах и предварительную обработку полученных данных проводили в программе MP Expert (Agilent Technologies, США). Конечное значение концентрации каждого элемента в анализируемой пробе

определяли как среднее арифметическое значение концентрации пяти параллельных измерений.

В почвенном покрове исследованных территорий города было определено валовое содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb). Для каждого элемента рассчитывали коэффициент концентрации (K_c), представляющий собой отношение концентрации металла в почве к его фоновому значению, и коэффициент опасности (K_o), отражающий кратность превышения валовой концентрации элемента в почве исследованного района по сравнению с его ПДК/ОДК, согласно ГН 2.1.2042-06.

Для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами использовали ПДК, ОДК и максимальные допустимые уровни содержания химических веществ по показателю вредности (K_{max}) [ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09]. Нормативные значения всех указанных выше показателей для меди, цинка и свинца представлены в таблице 1. Полученные данные по содержанию загрязнителя в среде сравнивали с фоновыми участками, не подвергавшимися техногенному воздействию или испытывающими его в минимальной степени [МУ 2.1.7.730-99].

Таблица 1. Значения нормативных показателей, используемых для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами [ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09]

Table 1. Values of normative indicators used to assess the degree of soil contamination with heavy metals [ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09]

Металл	Класс опасности	K_{max} , мг/кг	ПДК, мг/кг	ОДК, мг/кг
Cu	II	72*	–	66
Zn	I	200*	–	110
Pb	I	260	32	–

Примечание. * значения для подвижных форм.

В остальных случаях значения приведены для валового содержания металла в почве.

Для комплексной оценки загрязнения почв тяжелыми металлами применяли суммарный показатель загрязнения (Z_c), позволяющий определить степень негативного воздействия на среду одновременно несколькими загрязнителями [Саеи др., 1990]. Данный показатель представляет собой сумму коэффициентов концентрации (K_c) каждого металла. В зависимости от полученного значения Z_c исследуемые почвы относят к определенной категории загрязнения: $Z_c > 128$ – максимальный, чрезвычайно опасный уровень загрязнения; $Z_c = 32$ –128 – высокий, опасный; $Z_c = 16$ –32 – средний, умеренно опасный; $Z_c < 16$ – низкий, допустимый уровень [МУ 2.1.7.730-99].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Валовое содержание тяжелых металлов в почвенном покрове города

Медь. В 2017 г. валовое содержание меди в почвах исследуемых районов города существенно не отличалось от геохимического фона для юго-восточной Камчатки (рис. 2, 1). Заметно меньшее его значение было выявлено в фоновом участке – 22,63 мг/кг и аномально низкое в районе «Стадион “Спартак”» – 12,68 мг/кг. Наибольшее содержание меди определено в районе «Автостанция 10-й км» (37,65 мг/кг). При сравнении содержания этого элемента в почвах города с фоновым участком наблюдалось превышение во всех районах исследования (рис. 2, 1).

Исключение составило, как и в случае с геохимическим фоном меди, определенное значение для района «Стадион “Спартак”». Учитывая разницу содержания металла в исследуемых территориях к фоновому участку (K_c), выделен следующий ряд

уменьшения его накопления в почвах города: «Автостанция 10-й км» (1,67) $\geq$ «Ботанический переулок» (1,63) $>$ «Краевая библиотека» (1,56) $>$ «Госпиталь» (1,41) $>$ «Стадион “Спартак”» (0,56) (табл. 2).

В 2018 г. диапазон содержания меди в почвах города составил 27,95–42,36 мг/кг (табл. 2). Районом с наибольшей ее концентрацией в этот период являлся «Ботанический переулок», здесь было отмечено превышение геохимического фона и значения фоновое участка в 1,25 и 2,62 раза соответственно (рис. 2, 1). Концентрация меди в почвах всех исследованных территорий города превышала таковую для фоновое участка. В 2018 г. почвы города накапливали медь в следующем убывающем порядке: «Ботанический переулок» ($K_c = 2,62$) $>$ «Краевая библиотека» (2,27) $>$ «Госпиталь» (2,15) $>$ «Автостанция 10-й км» (1,81) $>$ «Стадион “Спартак”» (1,73) (рис. 2, 1; табл. 2).

Цинк. В летний период 2017 г. содержание цинка варьировало в диапазоне 7,03–65,75 мг/кг (табл. 2). Наибольшая его концентрация выявлена в районе «Краевая библиотека», наименьшая для «Стадиона “Спартак”». Во всех исследованных районах, исключая участок «Краевая библиотека», зарегистрирован дефицит этого металла в почвах по отношению к геохимическому фону (рис. 2, 2). Однако сравнивая содержание цинка в городской среде с фоновым участком, в большинстве районов выявлено его двукратное превышение. Аномально низкая его концентрация была определена в почвах района «Стадион “Спартак”» (рис. 2, 2). Последовательность районов по уменьшению содержания цинка в почвах города в 2017 г.: «Краевая библиотека» ($K_c = 2,61$) $>$ «Госпиталь» (2,34) $>$ «Ботанический переулок» (2,13) $>$ «Автостанция 10-й км» (2,02) $>$ «Стадион “Спартак”» (0,28) (рис. 2, 2; табл. 2).

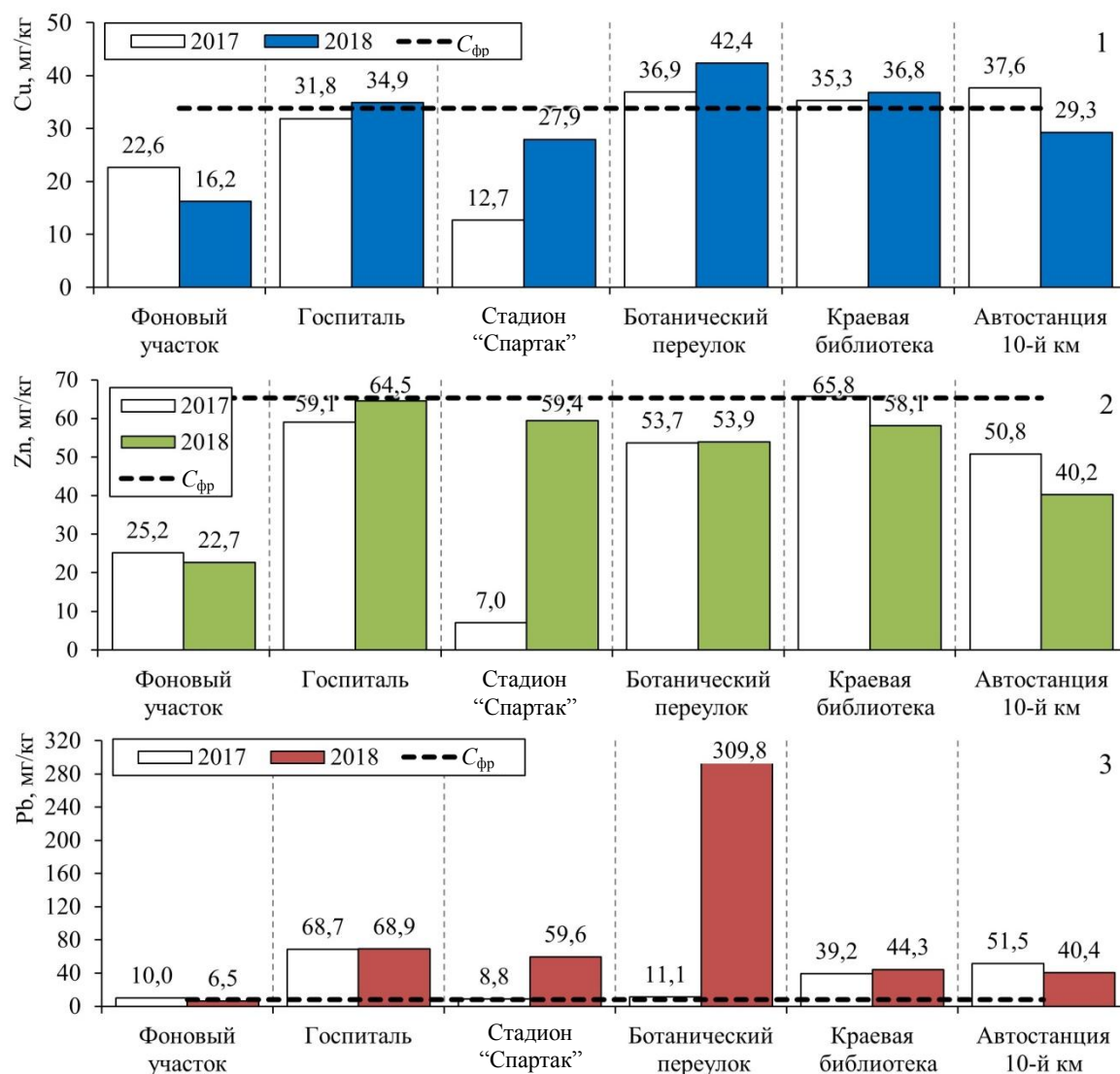


Рис. 2. Валовое содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых районов г. Петропавловска-Камчатского в летние периоды 2017 г. и 2018 г.: 1 – меди, 2 – цинка и 3 – свинца. Пунктирной линией отмечен геохимический фон (C_{fr}) каждого металла для южной провинции (юго-восточный район) Камчатки: медь – 33,83 мг/кг (1), цинк – 65,31 мг/кг (2) и свинец – 7,96 мг/кг (3).

Fig. 2. Heavy metal contents in soil samples collected from different areas of Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017–2018: 1 – Cu, 2 – Zn and 3 – Pb. Geochemical levels (C_{br}) for each metal recorded in southern province of Kamchatka (southeastern region) are indicated with dashed line: Cu, Zn and Pb – 33,83, 65,31 and 7,96 mg/kg, respectively.

В 2018 г. концентрация цинка в почвах ПКГО изменялась в пределах 40,21–64,54 мг/кг (табл. 2). Во всех исследованных участках его содержание было ниже геохимического фона (рис. 2, 2). При сравнении аккумуляции цинка в почвах городской среды с фоновым участком выявлено превышение от 1,7 до 2,8 раза. В 2018 г. накопление цинка в почвах г. Петропавловска-Камчатского происходило в сле-

дующем убывающем порядке: «Госпиталь» ($K_c = 2,84$) > «Стадион "Спартак"» (2,62) > «Краевая библиотека» (2,56) > «Ботанический переулок» (2,38) > «Автостанция 10-й км» (1,77) (табл. 2).

Свинец. В летний период 2017 г. уровень его накопления в почвах города значительно варьировал, от 8,80 до 68,70 мг/кг (рис. 2, 3; табл. 2).

Таблица 2. Уровни содержания и ряды накопления тяжелых металлов в почвах исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Table 2. Concentration levels (mg/kg) and accumulation sequences of heavy metals in soils from different areas of Petropavlovsk-Kamchatsky

Металл	Год	Уровни содержания ТМ, мг/кг	Ряд уменьшения содержания ТМ в почвах исследуемых районов
Cu	2017	12,68–37,65	Автостанция 10-й км ≥ Ботанический переулок > Краевая библиотека > Госпиталь > Стадион “Спартак”
	2018	27,95–42,36	Ботанический переулок > Краевая библиотека > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Стадион “Спартак”
Zn	2017	7,03–65,75	Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км > Стадион “Спартак”
	2018	40,21–64,54	Госпиталь > Стадион “Спартак” > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км
Pb	2017	8,80–68,70	Госпиталь > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Стадион “Спартак”
	2018	40,37–309,80	Ботанический переулок > Госпиталь > Стадион “Спартак” > Краевая библиотека > Автостанция 10-й км

Наибольшее содержание свинца определено в почвенных образцах из района «Госпиталь», наименьшее – в районе «Стадион “Спартак”». Во всех исследованных территориях отмечено превышение геохимического фона: незначительное для фонового участка и района «Стадион “Спартак”» и существенное для остальных районов города (рис. 2, 3). Последовательность районов по уменьшению свинца в почвах городской среды в 2017 г. может быть представлена в следующем виде: «Госпиталь» ($K_c = 6,87$) > «Автостанция 10-й км» (5,15) > «Краевая библиотека» (3,92) > «Ботанический переулок» (1,11) «Стадион “Спартак”» (0,88) (рис. 2, 3; табл. 2).

В 2018 г. содержание свинца в почвах города изменялось в широком диапазоне, от 40,37–309,76 мг/кг (табл. 2). Для всех исследуемых районов, исключая фоновый участок, отмечено значительное превышение геохимического фона этого элемента для почв юго-восточной Камчатки (рис. 2, 3). Среди территорий г. Петропавловска-Камчатского наименьшая концентрация свинца была выявлена для «Автостанции 10-й км», наибольшая – «Ботанический переулок». В 2018 г. накопление

свинца в почвах города происходило в следующем убывающем порядке: «Ботанический переулок» ($K_c = 47,66$) > «Госпиталь» (10,60) > «Стадион “Спартак”» (9,17) > «Краевая библиотека» (6,81) > «Автостанция 10-й км» (6,21) (рис. 2, 3; табл. 2).

Оценка степени металлического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского

В почвенном покрове г. Петропавловска-Камчатского содержание меди и свинца за весь период исследования не превышало установленных в России значений ПДК/ОДК (табл. 1, табл. 2).

Так, максимальная концентрация меди в почве города в 2017 г. составила 37,65 мг/кг, в 2018 г. – 42,36, в то время как значение ОДК этого металла соответствует 66 мг/кг (табл. 1). Максимальное содержание цинка в исследованных почвах за двухлетний период изучения не превышало 65,75 мг/кг, что значительно ниже ОДК (110 мг/кг). Таким образом, почвы города по накоплению меди и цинка не относятся к категории опасного загрязнения.

В 2018 г. к районам с допустимым уровнем загрязнения медью относились «Госпиталь», «Ботанический переулок» и «Краевая библиотека». На остальных территориях города, как и во всех районах в 2017 г., загрязнение почв медью можно охарактеризовать как минимальное. Почвенный покров с допустимым уровнем загрязнения цинка был выявлен во всех районах г. Петропавловска-Камчатского, за исключением участков «Стадион “Спартак”» в 2017 г. и «Автостанция 10-й км» в 2018 г. Содержание загрязнителя здесь было минимальным относительно фоновых значений.

За период 2017–2018 гг. практически все исследованные почвы города по валовому содержанию свинца были отнесены к опасной категории загрязнения. Двукратное превышение значений ПДК зарегистрировано в районе «Госпиталь». В 2018 г. концентрация свинца в районе «Ботанический переулок» достигла критических значений,

загрязнение почвы здесь характеризовалось как чрезвычайно опасное. Минимальная степень воздействия (содержание свинца соответствовало геохимическому фону для почв юго-восточной Камчатки) зарегистрирована в 2017 г. в районах «Стадион “Спартак”» и «Ботанический переулок».

Оценку уровня суммарного загрязнения почв города металлами за период 2017–2018 гг. проводили с учетом значений коэффициентов концентрации металлов (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c) (рис. 3). Накопление свинца в почвенном покрове, несомненно, обусловлено антропогенным воздействием, диапазон изменения K_c (Pb) составлял 0,88–47,66. Аккумуляция цинка и меди в почвах города детерминирована в большей степени природными факторами, их коэффициенты концентрации изменялись в пределах 0,28–2,84 и 0,56–2,62 соответственно (рис. 3).

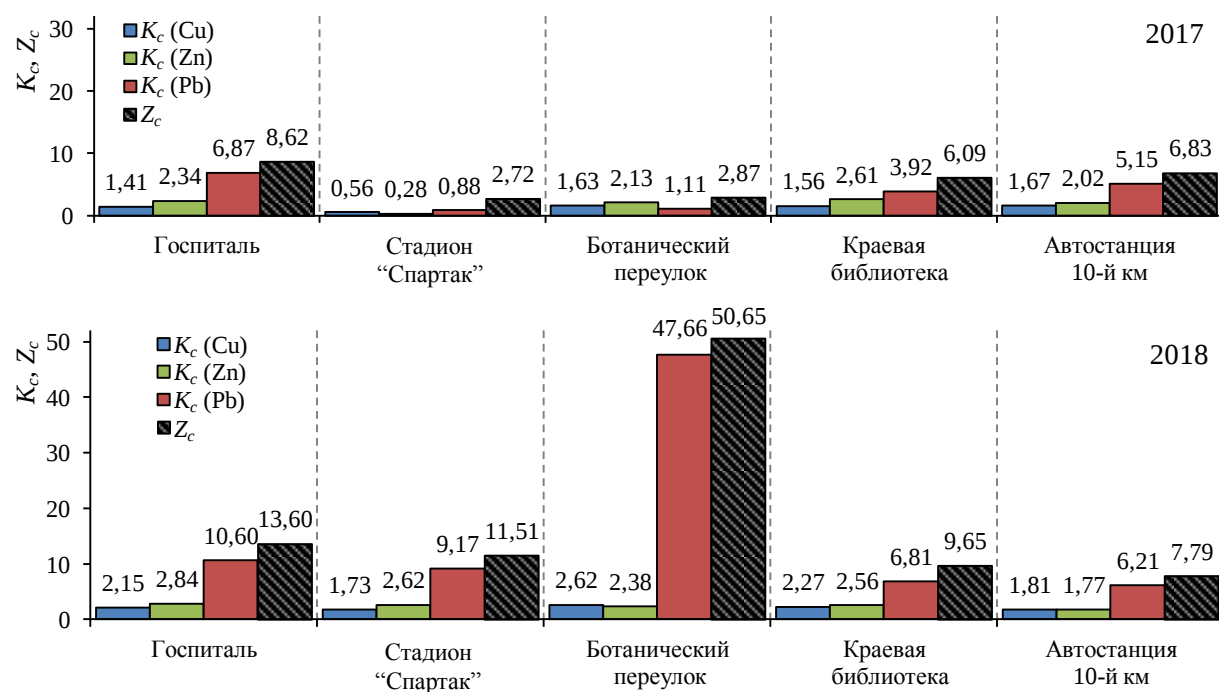


Рис. 3. Коэффициенты концентрации (K_c) цинка, меди, свинца и значения суммарного показателя загрязнения (Z_c) в почвах исследуемых районов г. Петропавловска-Камчатского в летние периоды 2017 г. и 2018 г.

Fig. 3. Concentration coefficients (K_c) of metals and total pollution (Z_c) of soil with heavy metals in Petropavlovsk-Kamchatkay in 2017–2018

Рассчитанный на основе коэффициентов концентрации суммарный показатель загрязнения (Z_c) показал, что в почвах всех исследуемых районов за период 2017–2018 гг. был выявлен допустимый уровень загрязнения тяжелыми металлами ($Z_c < 16$). Единственное исключение отмечено в 2018 г. для участка «Ботанический переулок», здесь Z_c был равен 50,6, что соответствует опасной категории загрязнения (рис. 3).

Учитывая полученные значения показателя суммарного загрязнения, можно выделить следующий ряд уменьшения комплексного воздействия тяжелых металлов на исследуемые участки в 2017 г.: «Госпиталь» ($Z_c = 8,62$) > «Автостанция 10-й км» (6,83) > «Краевая библиотека» (6,09) > «Ботанический переулок» (2,87) > «Стадион “Спартак”» (2,72). Для 2018 г. последовательность убывания загрязнения иная: «Ботанический переулок» ($Z_c = 50,65$) > «Госпиталь» (13,60) > «Стадион “Спартак”» (11,51) > «Краевая библиотека» (9,65) > «Автостанция 10-й км» (7,79). В 2018 г. прослеживается возрастание суммарного загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского медью, цинком и свинцом (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

В период 2017–2018 гг. во всех районах города наблюдалось превышение значения меди по отношению к фоновому участку, что связано преимущественно с природными особенностями. В районе «Стадион “Спартак”» ее содержание в 2018 г. увеличилось более чем в два раза по сравнению с 2017 г. Вероятно, существенное повышение концентрации меди здесь может быть связано с началом строительных работ. Районы «Госпиталь», «Ботанический переулок» и «Краевая библиотека» характеризуются увеличением содержания этого элемента в 2018 г. Снижение валового со-

держания меди в 2018 г. выявлено для района «Автостанция 10-й км». По всей вероятности, такая тенденция может быть обусловлена активной аккумуляцией этого элемента растениями, его миграцией в глубинные слои почвы, а также уменьшением локальных источников загрязнения.

Изменения значений концентрации цинка в почвах исследованных территорий в 2018 г. по сравнению с 2017 г. были незначительными. Для районов «Госпиталь» и «Стадион “Спартак”» характерно увеличение концентрации в 2018 г. Особенно это выражено для последнего из указанных районов, где в летний период 2018 г. содержание металла в 8,5 раза превысило показатели 2017 г., что, возможно, связано с начавшимися в это время масштабными строительными работами. В остальных районах в 2018 г. было обнаружено меньшее содержание цинка, что может быть связано с более активной его аккумуляцией растениями и другими причинами.

Динамика изменения концентрации свинца в почве города за период 2017–2018 гг. была выражена несущественно, исключением являлся район «Стадион “Спартак”». Резкое увеличение концентрации свинца (в 6,8 раза) в почве данного района в 2018 г. было выявлено и в случаях с другими проанализированными металлами (Cu и Zn). Для района «Краевая библиотека» отмечено увеличение содержания этого металла в 2018 г., для района «Автостанция 10-й км», напротив, выявлено снижение, аналогичная обстановка отмечалась для меди.

Стабильно низкое суммарное содержание всех металлов выявлено в почвенном покрове фоновой территории, его значение за период исследований не превышало 60 мг/кг (рис. 4). Наибольший вклад в металлическое загрязнение почв города, судя по представленным выше данным, вносит свинец. Аккумуляция металлов почвенным

покровом г. Петропавловска-Камчатского уменьшается в следующей последовательности: $Pb > Zn > Cu$. Важно отметить, что для ненарушенных почв юго-восточной Камчатки убывающий ряд концентраций этих металлов имеет другую последовательность: $Cu > Zn > Pb$ [Захарихина, Литвиненко, 20196].

В 2017 г. в почвах района «Стадион «Спартак»» была выявлена аномально низкая для городской среды суммарная концентрация всех проанализированных тяжелых металлов, менее 30 мг/кг (рис. 4). Это значительно ниже суммы значений геохимического фона для этих элементов в почвах юго-восточной Камчатки. И, вероятно, связано с рельефом места отбора проб, поскольку часть почвенных образцов отбиралась на склоне сопки Петровская. Однако в 2018 г. здесь наблюдался резкий «скачок» содержания всех металлов в почве. Возможная причина таких изменений – начало реконструкции стадиона, а также увеличение количества автотранспорта в городе.

Суммарное содержание металлов в почвах остальных районов города существенно превышало таковое для фонового участка за аналогичный период (рис. 4).

В 2017 г. наиболее загрязнены свинцом и медью были районы «Автостанция

10-й км» и «Госпиталь», цинком – «Краевая библиотека». В 2018 г. наибольшее загрязнение было отмечено на территории «Ботанического переулка». Рельеф данного участка способствует поступлению загрязнителей со стоком из жилых районов и с прилегающих дорог.

Содержание тяжелых металлов в почве существенно зависит от всех факторов природной среды, учет которых в полной степени невозможен. Так, изменение свойств почвы по различным причинам (кислотность, гранулометрический состав, содержание и состав гумуса) оказывает влияние на концентрацию металлов и их доступность для растений. Поэтому их содержание в фоновом участке может быть выше, чем в районах урбанизированной среды. Но немало важно и то, что в условиях городской среды сложно в полной мере учесть влияние антропогенного фактора, которое визуально незаметно, но может привносить загрязнители, включая тяжелые металлы, на выбранный фоновый участок. Кроме того, колебания концентрации металлов могут быть вызваны природными (климат, вулканическая деятельность) и антропогенными (увеличение количества автотранспорта, строительные работы, отходы, выбросы предприятий теплоэнергетики) факторами.

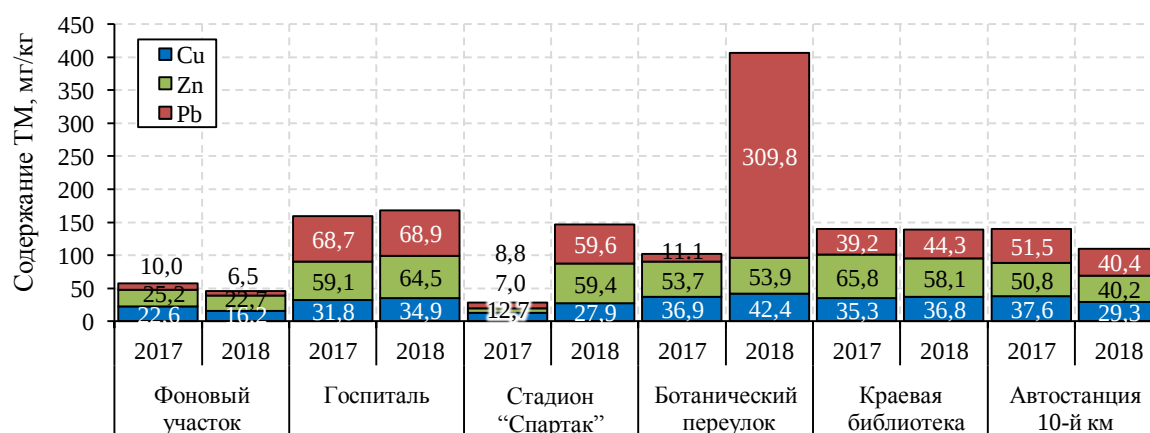


Рис. 4. Суммарное содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb) в почвенном покрове г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка за 2017–2018 гг.

Fig. 4. Total heavy metal contents (Cu, Zn, Pb) in soils of Petropavlovsk-Kamchatsky and in the control unpolluted area in 2017–2018

В крупном промышленном центре – городе Новосибирске – наблюдается недостаток цинка в растениях и почвах [Ильин, Сысо, 2001]. Его избыток отмечен только в зонах непосредственного влияния промышленных предприятий. Концентрация свинца в некоторых районах этой урбанизированной территории превышала минимальное значение для этого же города в 45 раз, что говорит о существенных различиях показателей антропогенного воздействия и комплекса других экологических факторов. В суровых климатических условиях города Архангельска содержание цинка и меди в почвах изменяется в широких пределах и превышает их концентрацию в фоновом участке, что отражает степень и длительность антропогенной нагрузки в разных районах, наиболее высокие концентрации характерны для селитебной зоны [Корельская, Попова, 2012; Коновалова, 2018]. Свинец считается основным поллютантом техногенно-антропогенных зон города, где его значение существенно превышает фоновое. Общий ряд уменьшения по степени накопления металлов в почве г. Архангельска можно представить следующим образом: $Pb > Cu > Zn$ [Корельская, Попова, 2012].

Согласно МУ 2.1.7.730-99 и СанПин 2.1.7.1287-03 превышение в исследуемых почвах содержания токсичных металлов в два и более раз относительно фоновых значений характеризует их как загрязненные. Среднее содержание рассмотренных тяжелых металлов в почвах некоторых районов г. Петропавловска-Камчатского за период 2017–2018 гг. существенно превосходило фоновые значения, полученные для участка, расположенного у озера Синичкино. Для меди в районе «Ботанический переулок» оно было в 2,1 раза выше, для цинка в районах «Ботанический переулок», «Госпиталь» и «Краевая библиотека» пре-

вышение варьировало от 2,3 до 2,9 раза. Для свинца во всех исследованных почвах города оно было в 5,0 и более раз выше, максимальное превышение отмечено в районе «Ботанический переулок» (24,4 раза).

При оценке экологического состояния почв Петропавловска-Камчатского с учетом ПДК/ОДК и суммарного показателя Z_c выявлена разная степень загрязнения тяжелыми металлами одних и тех же районов. Принимая во внимание, что допустимые концентрации являются основным критерием гигиенической оценки загрязнения почв, обнаруженное превышение ПДК свинца в исследованных районах является приоритетным при экологической оценке территорий города. Этот металл практически во всех районах содержался в опасных концентрациях. Остальные металлы (Cu и Zn) выявлены в допустимом пределе. Основываясь на полученных значениях показателя суммарного загрязнения металлами, наиболее неблагоприятными в 2017 г. районами были «Госпиталь» и «Автостанция 10-й км», в 2018 г. – «Ботанический переулок» и «Госпиталь».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение тяжелых металлов в почвах территорий города Петропавловска-Камчатского неравномерно и определяется, главным образом, действием антропогенного фактора. Содержание Zn и Cu обусловлено природными особенностями города, их концентрация изменялась в незначительном диапазоне на различных участках, в отличие от свинца, присутствие которого определяется антропогенным воздействием. За период исследований с 2017 г. по 2018 г. загрязнение почв города тяжелыми металлами возросло. В 2018 г. степень их загрязнения по содержанию свинца оценивается как опасная. Однако

показатель суммарного загрязнения почв металлами, включающий воздействие меди, цинка и свинца, характеризует экологическую обстановку в районах исследования как допустимую.

ЛИТЕРАТУРА

- ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Роспотребнадзор, 2009. 11 с.
- Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2018 г. Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. Петропавловск-Камчатский, 2019. 395 с.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2018. Вулканизм и связанные с ним процессы. *Материалы XXI региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и геохимия экосистем»*. С. 52–55.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019а. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Специфика формирования элементного состава вулканических почв в холодных гумидных условиях. *Вулканология и сейсмология*. № 3. С. 25–33.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019б. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Элементный состав растительности вулканических экосистем. *Вулканология и сейсмология*. № 4. С. 40–51.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. 2001. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 229 с.
- Карпачевский Л.О., Алябина И.О., Захарихина Л.В. и др. 2009. Почвы Камчатки. М.: ГЕОС. 250 с.
- Коновалова О.Н. 2018. Формы нахождения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове г. Архангельска. *Диссертация ... канд. хим. наук*. Архангельск. 202 с.
- Корельская Т.А., Попова Л.Ф. 2012. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска. *Арктика и Север*. № 7. С. 136–152.
- Корчагина К.В. 2014. Оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами с учетом профильного распределения их объемных концентраций. *Автореферат дис. ... канд. биолог. наук*. Москва. 25 с.
- Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. 2008. Почвенные провинции Камчатки и их геохимическая характеристика. *Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле*. № 1. С. 98–112.
- Лукманов Н.А. 2018. Элементный состав почв платообразных возвышенностей Южного Урала. *Диссертация ... канд. биол. наук*. Уфа. 147 с.
- Медведев И.Ф., Деревягин С.С. 2017. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: Ракурс. 178 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства. 1992. М.: ЦИНАО. 57 с.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. *Методические указания*. М.: НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды, 1999. 20 с.
- Постановление 23.12.2019 г. № 2603 Об утверждении актуализированной схемы

теплоснабжения Петропавловск-Камчатского городского округа до 2030 года на 2020 год. <http://pkgo.ru/about/administration/documents/22105/>

Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. 1990. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 335 с.

СанПин 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Роспотребнадзор, 2003. 15 с.

Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.

Sharma V., Singh P. 2015. Heavy metals pollution and it's effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6. Issue 12. P. 7752–7755.

REFERENCES

HN 2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in soil. М.: Federal Hygienic and Epidemiological Center of Rospotrebnadzor, 2006. 15 p.

HN 2.1.7.2511-09. Approximate permissible concentration (APC) of chemical substances in the soil. М.: Rospotrebnadzor, 2009. 11 p.

Report on the environmental situation in the Kamchatka territory in 2018. Ministry of natural resources and ecology of the Kamchatka territory. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2019. 395 p.

Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2018. Volcanism and related processes. *Proceedings of regional scientific conference dedicated to the day of volcanologist "Volcanism and Geochemistry of Ecosystems"*. P. 52–55.

Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019a. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 2. Specificity of forming the

elemental composition of volcanic soil in cold and humid conditions. *Vulkanologia i seismologia (Journal of Volcanology and Seismology)*. № 3. P. 25–33.

Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019b. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 3. Elemental composition of vegetation of volcanic ecosystems. *Vulkanologia i seismologia (Journal of Volcanology and Seismology)*. № 4. P. 40–51.

Ilyin V.B., Syso A.I. 2001. Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region. Novosibirsk: Publisher SB RAS. 229 p.

Karpachevsky L.O., Alyabina I.O., Zakharikhina L.V. et al. 2009. Soils of Kamchatka. М.: GEOS. 250 p.

Konovalova O.N. 2018. Forms of finding heavy metals in the soil and vegetation cover of Arkhangelsk. *Candidacy dissertation for chemical sciences*. Arkhangelsk. 202 p.

Korelskaya T.A., Popova L.F. 2012. Heavy metals in the soil and vegetation cover of the residential landscape of the city of Arkhangelsk. *Arktika i sever (Arctic and North)*. № 7. P. 136–152.

Korchagina K.V. 2014. Assessment of urban soil contamination with heavy metals taking into account the profile distribution of their volume concentrations. *Abstract of candidacy dissertation for biological sciences*. Moscow. 25 p.

Litvinenko Yu.S., Zakharikhina L.V. 2008. Soil provinces of Kamchatka and their geochemical characteristics. *Vestnik KRAUNTS. Seriya: Nauki o Zemle (Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center")*. Earth Sciences). № 1. P. 98–112.

Lukmanov N.A. 2018. Elemental composition of soils of platform hills of the southern Urals. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Ufa. 147 p.

- Medvedev I. F., Derevyagin S.S. 2017. Heavy metals in ecosystems. Saratov: Rakurs. 78 p.
- Guidance document on the determination of heavy metals in farmland soils and crop production. 1992. M.: CINAO. 57 p.
- GD 2.1.7.730-99. Hygienic assessment of soil quality in populated areas. M.: Research Institute of human ecology and environmental hygiene, 1999. 20 p.
- Resolution 23.12.2019 № 2603 About the approval of the updated scheme of heat supply of Petropavlovsk-Kamchatsky city district until 2030 for 2020. <http://pkgo.ru/about/administration/documents/22105/>
- Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. et al. 1990. Geochemistry of environment. M.: Nedra. 335 p.
- SanPin 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for soil quality. M.: Rospotrebnadzor, 2003. 15 p.
- Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.
- Sharma V., Singh P. 2015. Heavy metals pollution and its effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6. Issue 12. P. 7752–7755.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Авдошенко Виктория Геннадьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; заведующий отделом подготовки кадров высшей квалификации; vikaav91@mail.ru. SPIN-код: 2784-7863, AuthorID: 926402.

Avdoshchenko Viktoria Gennadevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Head of the Postgraduate Department; vikaav91@mail.ru. SPIN-код: 2784-7863, AuthorID: 926402.

Климова Анна Валерьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; заведующий сектором коллективного использования научного оборудования; annaklimovae@mail.ru. SPIN-код: 3188-5428, AuthorID: 732623; Scopus ID: 56711736100.

Klimova Anna Valerievna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences; Head of the Center for Collective Use of Scientific Equipment; annaklimovae@mail.ru. SPIN-код: 3188-5428, AuthorID: 732623; Scopus ID: 56711736100.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ
МАССОВЫХ ВИДОВ МОРСКИХ ОКУНЕЙ РОДА *SEBASTES*
В ТИХООКЕАНСКИХ ВОДАХ КАМЧАТКИ
И СЕВЕРНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ**

Зудина С.М.¹, Овчеренко Р.Т.^{1, 2}

¹ Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35;

² Камчатский филиал Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18.

Определение достоверного возраста рыб имеет большое прикладное значение, поскольку в большинстве используемых в настоящее время методик расчета запасов используют матрицы уловов по возрастным группам. Данные по минимальному и максимальному возрасту также являются входной информацией для так называемых нематематических DLM (Data Limited Method) методов оценок запаса, применяемых в настоящее время для морских окуней прикамчатских вод. Допущенные при определении возраста ошибки способны привести к некорректным оценкам запасов основных промысловых видов морских окуней в рыбопромысловых районах. В нашей статье приводятся данные по определению возраста трех наиболее распространенных в прикамчатских водах видов морских окуней – северного (*Sebastes borealis*), тихоокеанского (*Sebastes alutus*) и голубого (*Sebastes glaucus*). Результаты определений сопоставлены с полученными данными «параллельной оценки» возраста двумя исследователями. Определена степень допустимой ошибки для каждого вида, и проведен сравнительный анализ наших данных о возрасте с таковыми, полученными зарубежными исследователями.

Ключевые слова: возраст, годовое кольцо, голубой окунь, отолит, северный окунь, тихоокеанский окунь.

**FEATURES OF DETERMINING THE AGE AND LIFE EXPECTANCY OF MASS
SEA PERCH *SEBASTES* SP. SPECIES IN THE PACIFIC WATERS OF KAMCHATKA
AND NORTHERN KURIL ISLANDS**

Zudina S.M.¹, Ovcherenko R.T.^{1, 2}

¹ Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35;

² Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberedzhnaya Str. 18.

The determination of fish age has a big application value because in most currently used methods of reserves calculation the matrix of catches based on age group are used. Data on the minimum and maximum age are also input information for the so-called non-mathematical DLM (Data Limited Method) methods which are currently used for estimating sea perch stocks in the waters of Kamchatka. Accordingly, mistakes in determining the age will lead to incorrect estimates of the main commercial species stocks of sea perch in fishing areas. The data on determining the age of the three most common species of sea perch species – Northern (*Sebastes borealis*), Pacific (*Sebastes alutus*) and blue (*Sebastes glaucus*) in the waters of Kamchatka are presented in the article. The results of the definitions are compared with the obtained data of a "parallel assessment" of age by two researchers. The degree of error allowed for each species is determined and a comparative analysis of our age data with those obtained by foreign researchers is carried out.

Key words: age, annual ring, blue perch, otolith, Northern perch, Pacific perch.

ВВЕДЕНИЕ

Достоверное знание возраста у рыбы возможно только в том случае, если особи растут под постоянным наблюдением. Для реконструкции возраста пойманной рыбы традиционно используются кальцифицированные (регистрирующие) структуры, на которых образуются кольца или зоны, характеризующие периоды интенсивного или замедленного роста. Первые соответствуют условиям нагула, приходящегося, как правило, на летний период. Вторые – следствие ухудшения условий роста, связанных с уменьшением интенсивности питания, нерестом, изменением температуры и воздействием других неблагоприятных экологических факторов, приуроченных преимущественно к холодному периоду года [Чугунова, 1959]. При правильной интерпретации колец или зон летнего и зимнего периода возможен подсчет количества прожитых рыбой лет.

Среди ученых-ихтиологов разных стран не существует единого мнения о максимальной продолжительности жизни представителей морских окуней рода *Sebastes*. Это связано, в первую очередь, с трудностью идентификации годовых колец [Chilton, Beamish, 1982]. Зарубежные исследователи уделяют этому вопросу большое внимание, проводят различные исследования с использованием новейшего современного оборудования и лабораторных анализов [Hutchinson et al., 2007]. Полученные за рубежом результаты определения возраста окуней значительно различаются с таковыми, получаемыми российскими специалистами.

С начала 1980-х гг. в качестве метода для определения возраста рыб используется способ подсчета колец по обожженным сломам (спилам) отоликов. Этот метод хорошо зарекомендовал себя для морских

окуней [Chilton, Beamish, 1982]. Следует отметить, что для каждого вида окуня характерны свои особенности роста отоликов, закладки годовых колец, как следствие, их идентификация и чтение. В нашей работе приводятся данные по определению возраста трех видов морских окуней рода *Sebastes*, наиболее распространенных в прикамчатских водах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения возраста морских окуней использовали коллекции отоликов северного (*Sebastes borealis*), тихоокеанского (*Sebastes alutus*) и голубого (*Sebastes glaucus*) окуней. Коллекция включала отолики, собранные при проведении полного биологического анализа на траловом и ярусном промысле в тихоокеанских водах, а также в водах Берингова моря в период с 1990 по 2018 гг.

Для определения возраста рыб использовали бинокляр МБС-9 и микроскоп Olympus SZ-7 (Токио, Япония). Отолик разламывали на две половины через ядро в поперечном направлении. Две половины отолика обжигали в пламени спиртовки, покрывали глицерином и затем изучали под бинокляром или микроскопом, осуществляя подсчет годовых колец [Chilton, Beamish, 1982; Penttilä, Dery, 1988].

Возраст определяли два специалиста «вслепую», т. е. не имея представления о биологических данных рыбы, для которой производилось определение, методом подсчета годовых колец по обожженным сломам отоликов [Chilton, Beamish, 1982]. Затем полученные данные сравнивали и интерпретировали на имеющийся первичный материал о длине особи, отолики которой использовали в анализе. Фото сломов отоликов выполняли в лаборатории комплексного использования научного

оборудования ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» при помощи микроскопа Olympus SZ-7 (Токуо, Japan) с встроенной цифровой видеокамерой (DP27, Olympus) и программным обеспечением (CellSens).

Для характеристики отолитов нами была выполнена отолитометрия, включающая в себя измерение веса отолита, его длины, ширины и толщины. Авторы выражают искреннюю благодарность всем участникам научных экспедиций КамчатНИРО, проводимых в разные годы, чьи материалы были любезно предоставлены нам для исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отолиты морских окуней обладают характерной морфологической неоднородностью частей. Это связано с тем, что их формирование происходит на разных жизненных этапах особей и под влиянием различных экологических факторов [Токранов, Давыдов, 1997, 1998; Токранов, 2001,

2003, 2004; Токранов и др., 2005]. Результаты отолитометрии показали, что у трех видов морских окуней прикамчатских вод наблюдается явно выраженное различие формы отолитов (рис. 1).

Для *S. borealis* характерны крупные, сильно вогнутые отолиты, с четко выраженной глубокой слуховой бороздой и максимально плотным центром. Особенности строения отолита *S. borealis* являются значительные отличия между толщиной центра отолита и его краями, часто декальцинированными или сильно разветвленными (рис. 1). В связи с этим при приготовлении сломов или тонких срезов отолита происходит разрушение края, либо поперечный слом часто не проходит через его центр. При обжиге слома отолита в пламени спиртовки неизбежно происходит разрушение его края при недостаточной степени прокаливании центральной части, что ведет к низкому качеству образца и, как следствие, к высокой трудности интерпретации возраста.

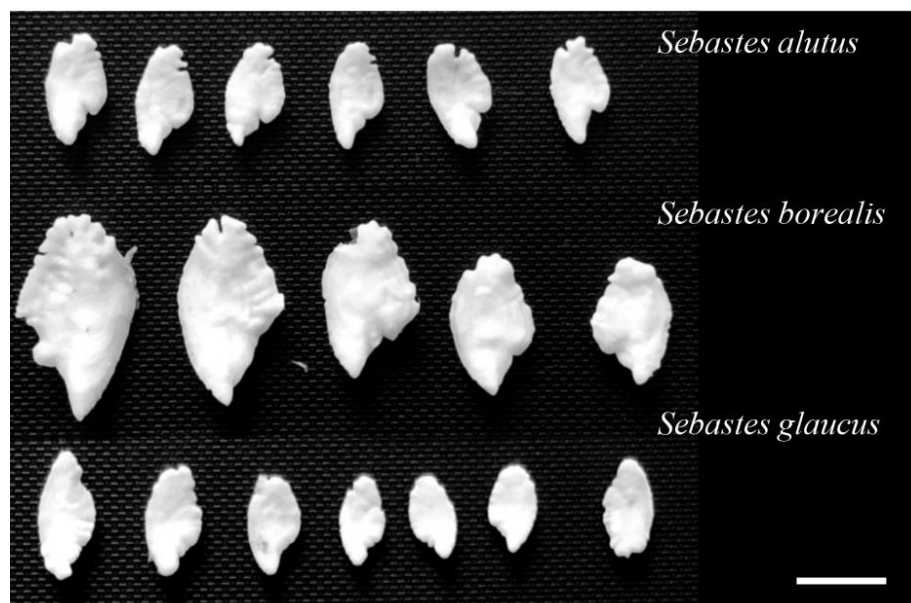


Рис 1. Внешнее строение и форма отолитов трех наиболее распространенных в камчатских и прикамчатских водах видов морских окуней. Масштаб: 1 см

Fig. 1. The external structure and shape of otoliths of the three most common types of sea bass in Kamchatka waters. Scale: 1 cm

Отолиты тихоокеанского окуня значительно отличаются от отолитов *S. borealis* размерами и формой. Они меньшего размера, вытянутой в продольном направлении формы (рис. 1), с сильно удлинненным и заостренным дорзальным краем. Края отолита тонкие, легко поддающиеся повреждениям, центр уплотнен, но легко поддается разлому. Отолиты голубого окуня по форме схожи с отолитами *S. alutus* и *S. borealis*, но значительно отличаются от них по плотности и однородности структуры. Так, для отолита *S. glaucus* характерно достаточно однородное строение по всему периметру, без уплотнения центральной части и истончения или декальцинирования края. Соответственно, отолиты легко поддаются сломам без существенных повреждений образца.

Исследуя проблемы определения возраста морских окуней необходимо понимать и уметь достоверно идентифициро-

вать годовые кольца на поперечном сломе отолита. В первую очередь, у большинства исследователей возникают споры в отношении так называемых добавочных колец, неравномерности зон приростов, а также «наложения» годовых колец.

Ниже приведены фотографии сломов отолитов *S. alutus* (рис. 2), *S. glaucus* (рис. 3) и *S. borealis* (рис. 4), по которым проводилось определение возраста. Субъективная оценка специалиста оказывает значительное влияние на результат определения возраста. В целях снижения фактора субъективной оценки на результаты было проведено определение возраста двумя специалистами «вслепую» и независимо друг от друга, т. е. определение проводили параллельно по одному и тому же образцу (отолисту) без представления информации о биологических и промысловых показателях (длина, вес, пол рыбы, район исследований, сроки поимки).

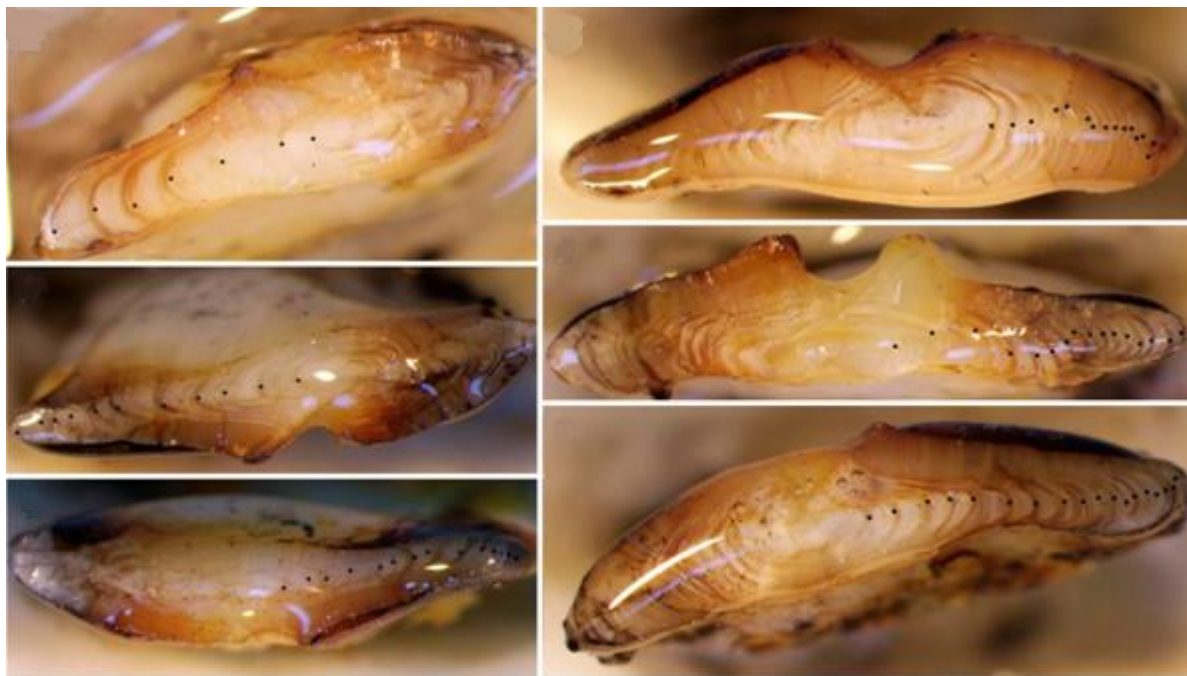


Рис. 2. Фотографии прокаленных поперечных сломов отолитов *Sebastes alutus*. Точками обозначены годовые кольца

Fig. 2. Photos of calcined transverse fractures of the otoliths *Sebastes alutus*. The dots represent the annual rings



Рис. 3. Фотографии прокаленных поперечных сломов отолитов *Sebastes glaucus*. Точками обозначены годовые кольца

Fig. 3. Photos of calcined transverse fractures of otoliths *Sebastes glaucus*. The dots represent the annual rings

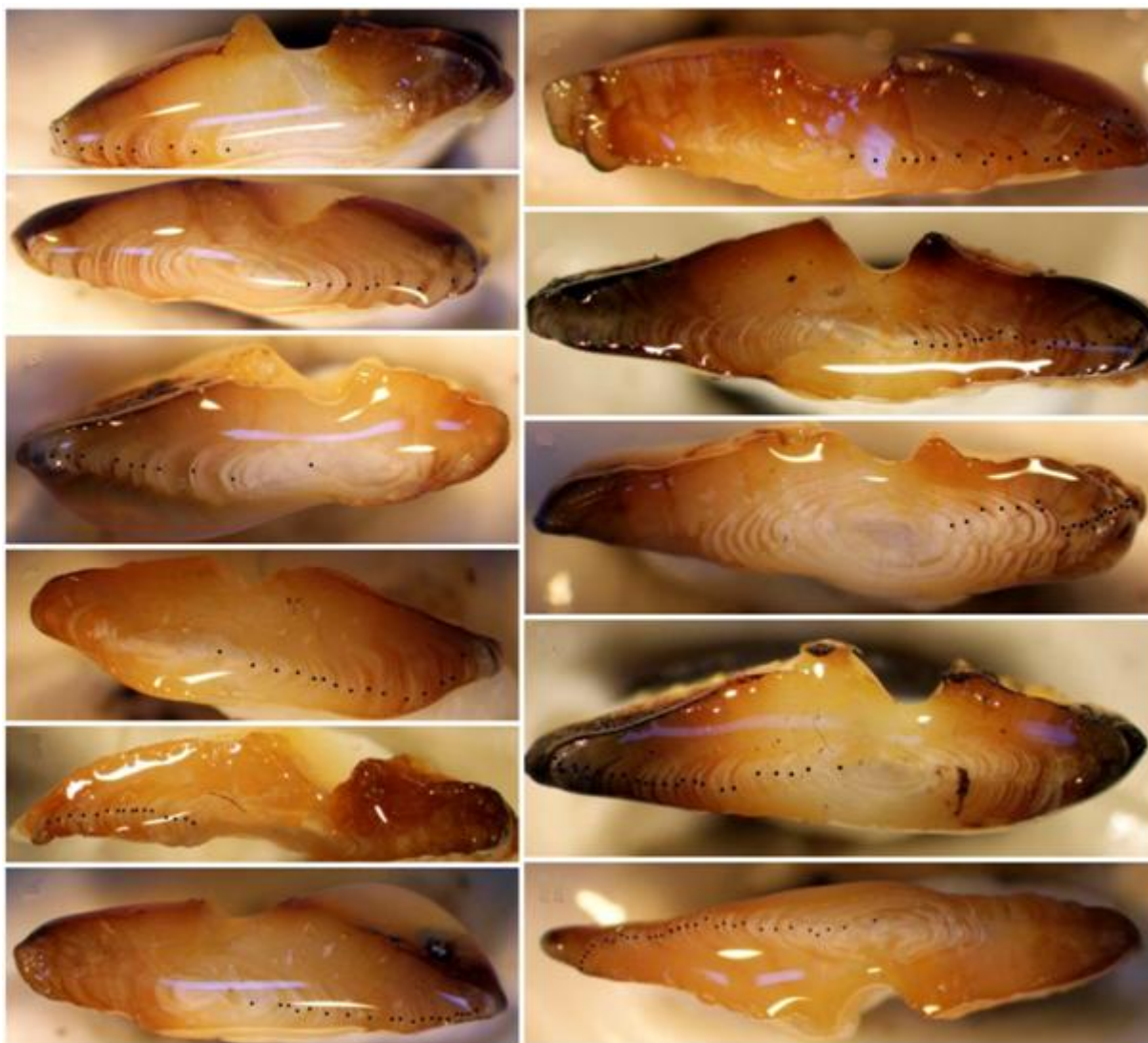


Рис. 4. Фотографии прокаленных поперечных сломов отолитов *Sebastes borealis*. Точками обозначены годовые кольца

Fig. 4. Photos of calcined transverse fractures of otoliths *Sebastes borealis*. The dots represent the annual rings

Как было сказано нами выше, отолиты трех видов морских окуней значительно отличаются друг от друга, что влияет на качество подготовки сломов и, соответственно, на уровень сложности идентификации возраста. В результате параллельной оценки возраста нами было определено, что для всех трех видов окуней имеет место наличие расхождений в определении. Так, для северного окуня оно составило в среднем три года для рыб длиной до 75 см, а с увеличением длины рыбы возрастало до 10 лет (рис. 5).

Для тихоокеанского окуня сопоставление полученных результатов определения возраста показало достаточно высокую степень их сходства. Так, для рыб, не превышающих 42 см длины, расхождение составило 1–2 года, для более крупных – три года (рис. 5). Возраст голубого окуня, аналогично тихоокеанскому, оказался сопоставимым по результатам, полученным двумя специалистами, с наличием расхождений в 1–2 года для рыб длиной до 46 см, однако с увеличе-

нием длины особей разница в определении увеличивалась до 10–12 лет (рис. 5).

Для всех видов наблюдали следующую общую тенденцию – для рыб меньшей длины возраст, определенный вторым специалистом, оказался несколько выше, чем определения первого, для рыб средних длин результаты были близкими, а для рыб больших длин, наоборот, результаты определения второго специалиста ниже, чем определения первого. Тем не менее, учитывая сложность идентификации годовых колец на отолитах, можно утверждать, что расхождения в определении возраста морских окуней характерны в большей степени для крупных рыб, где ошибка может доходить до 10–12 лет.

Между российскими и зарубежными специалистами имеется значительная разница в определении возраста морских окуней.

По мнению зарубежных исследователей, максимальный возраст отдельных видов может превышать 120 лет [Archibald et al., 1981; Chilton, Beamish, 1982].

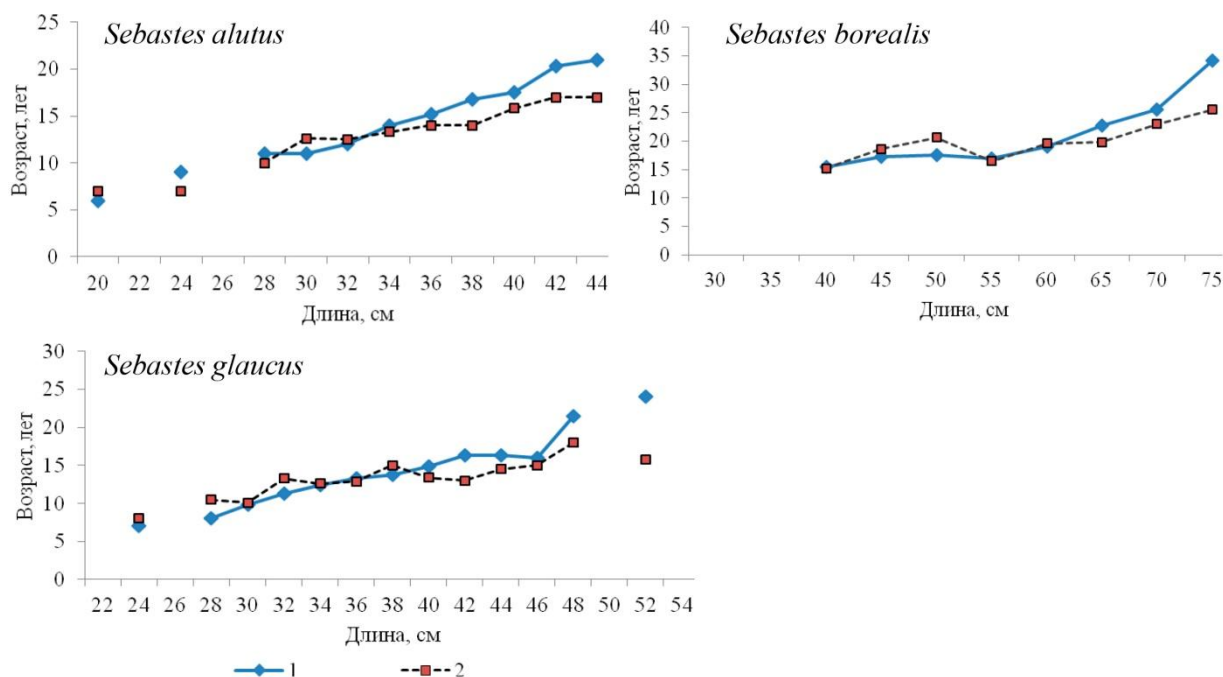


Рис. 5. Результаты параллельной оценки возраста морских окуней двумя специалистами

Fig. 5. Results of a parallel assessment of the sea bass age by two specialists

Результаты определения возраста многих видов рыб имеются на сайте Аляскинского промыслового научного центра (Alaska Fishery Science Center), где доступна демоверсия программы для определения возраста по загруженным фотографиям сломов отолида. Полученные результаты можно сверить с результатом, полученным специалистом данного Центра. Из предложенных в программе видов имеется один из рассматриваемых в настоящей работе – тихоокеанский окунь. Нами в качестве подтверждения и сравнения результатов были взяты фото двух отолидов данного вида (рис. 6). Длина тихоокеанского окуня, от которого были взяты

отолиты, составляла 41 см. В используемой на сайте программе на каждом образце нами были расставлены метки, подтверждающие наличие годового кольца. По окончании был показан результат, полученный Центром по исследуемому образцу. В обоих образцах возраст, определенный нами, оказался ниже, причем разница между определениями составила три года в первом случае и девять лет во втором. По полученным нами данным из уловов в водах, прилегающих к Камчатке, возраст тихоокеанского окуня, при указанной длине, составляет в среднем 19–20 лет, что может свидетельствовать о сопоставимости полученных результатов.

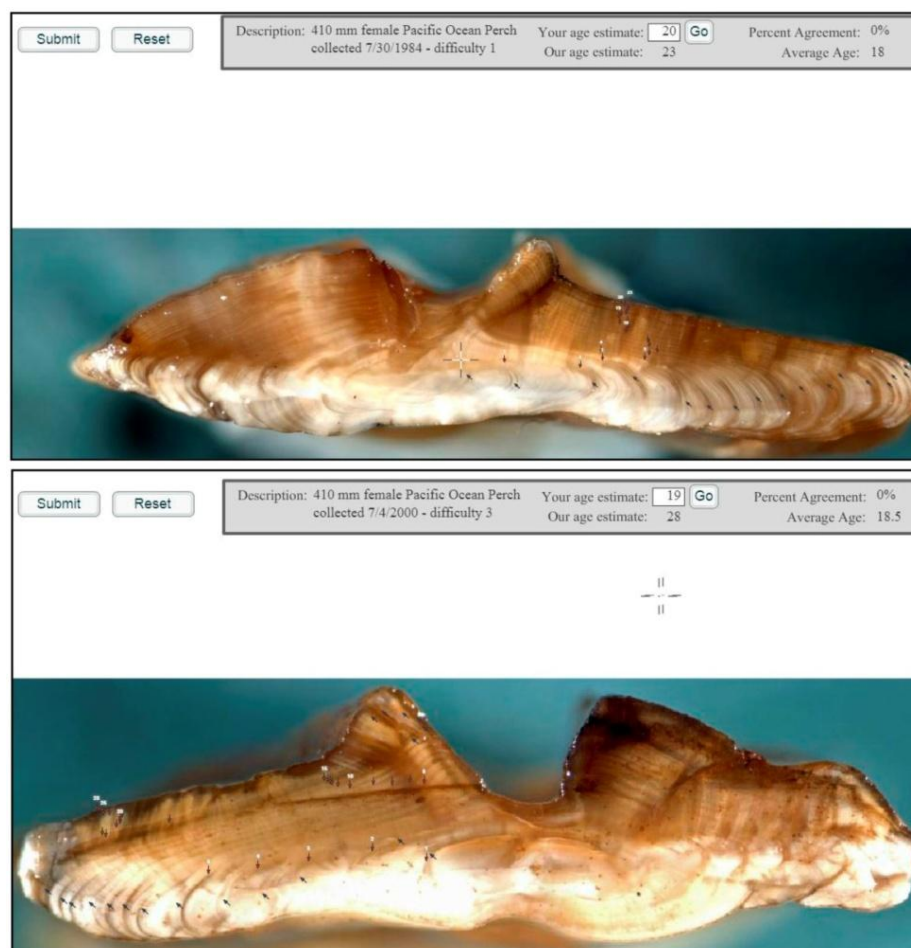


Рис. 6. Образцы поперечного слома отолида *Sebastes alutus*, представленные на официальном сайте Аляскинского промыслового научного центра (URL: <https://www.afsc.noaa.gov>)

Fig. 6. Samples of the cross-section fracture of *Sebastes alutus* otolith, presented on the official website of the Alaska commercial scientific center (URL: <https://www.afsc.noaa.gov>)

Таким образом, проведя анализ полученных результатов по определению возраста, сопоставив их с данными зарубежных источников, проанализировав возрастной состав уловов за последние 30 лет, можно заключить, что продолжительность жизни морских окуней не превышает 45 лет. Максимальная продолжительность жизни северного окуня – 40–45 лет, тихоокеанского – 30 лет, голубого – 26 лет. Возраст, многократно превышающий данные значения, может быть получен вследствие ошибки в интерпретации годовых колец и неправильного учета дополнительных колец.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования установлено, что при параллельном чтении несколькими исследователями возраста морских окуней для всех трех видов имеет место наличие расхождений. Для северного окуня расхождения составляют в среднем три года (для рыб длиной до 75 см), а с увеличением длины рыбы оно возрастает до 10 лет. Для тихоокеанского окуня (для рыб длиной до 42 см) расхождения составляют 1–2 года, для более крупных рыб – три года. Для голубого окуня характерно наличие расхождений в 1–2 года (для рыб длиной до 46 см). С увеличением длины особей разница в определении увеличивается до 10–12 лет.

Многолетние исследования возраста морских окуней, обитающих в прикамчатских водах, в совокупности с проведенными нами исследованиями доказывают, что максимальная продолжительность их жизни не превышает 45 лет.

ЛИТЕРАТУРА

Токранов А.М., Давыдов И.И. 1997. Некоторые вопросы биологии северного морского окуня *Sebastes borealis*

(Scorpaenidae) в тихоокеанских водах Камчатки и западной части Берингова моря. 1. Пространственно-батиметрическое распределение. *Вопросы ихтиологии*. Т. 37. № 6. С. 798–805.

Токранов А.М., Давыдов И.И. 1998. Некоторые вопросы биологии северного морского окуня *Sebastes borealis* (Scorpaenidae) в тихоокеанских водах Камчатки и западной части Берингова моря. 2. Размерно-возрастной состав. *Вопросы ихтиологии*. Т. 38. № 1. С. 42–46.

Токранов А.М. 2001. Распределение и размерно-возрастной состав окуня клювача *Sebastes alutus* в тихоокеанских водах юго-восточной Камчатки и Северных Курильских островов в 90-е годы XX века. *Тезисы докладов международной конференции «Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем»* (Мурманск, 25–28 апреля 2001 г.). Апатиты: Изд-во Кольского науч. центра РАН. 2001. С. 233–235.

Токранов А.М. 2003. Размерно-возрастная структура северного морского окуня *Sebastes borealis* в тихоокеанских водах юго-восточной Камчатки и Северных Курильских островов в условиях ограниченного промысла. *Материалы IV научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей* (Петропавловск-Камчатский, 18–19 ноября 2003 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 170–172.

Токранов А.М. 2004. Распределение и размерно-возрастной состав окуня клювача *Sebastes alutus* (Sebastidae) в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки в конце XX – начале XXI веков. *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. 7. С. 207–214.

- Токранов А.М., Орлов А.М., Шейко Б.А. 2005. Промысловые рыбы материкового склона прикамчатских вод. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 52 с., илл. 12.
- Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во Академии наук СССР. 164 с.
- Archibald C.P., Shaw W., Leaman B.M. 1981. Growth and mortality estimates of rockfish (Scorpaenidae) from British Columbia coastal waters, 1977–1979. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. № 1048. 57 p.
- Chilton D.E., Beamish R.J. 1982. Age determination methods for fishes studied by the ground program at the Pacific Biological Station. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 60. 102 p.
- Hutchinson C.E., Kastle C.R., Kimura D.K., Gunderson D.R. 2007. Developing ageing criteria for shortraker rockfish (*Sebastes borealis*) using radiometric ages to develop conventional ageing methods for shortraker rockfish (*Sebastes borealis*). Alaska sea grant in biology, assessment, and management of North Pacific rockfishes biology, assessment, and management of North Pacific rockfishes. P. 237–249.
- Pentilla J., Dery L. 1988. Age determination methods for North Atlantic species. NOAA Technical Report NMFS 72. P. 137.
- Tokranov A.M., Davydov I.I. 1997. Some data of biology of the *Sebastes borealis* (Scorpaenidae) in the Pacific waters of Kamchatka and the western part of the Bering Sea I. Spatial-bathymetric distribution. *Voprosy ikhtiologii (Journal of Ichthyology)*. V. 37, № 6. P. 798–805.
- Tokranov A.M., Davydov I.I. 1998. Some data of biology of the *Sebastes borealis* (Scorpaenidae) in the Pacific waters of Kamchatka and the western part of the Bering Sea II. Length-age composition. *Voprosy ikhtiologii (Journal of Ichthyology)*. V. 38, № 1. P. 42–46.
- Tokranov A.M. 2001. Distribution and size-age composition of the beak perch *Sebastes alutus* in the Pacific waters of South-Eastern Kamchatka and the Northern Kuril Islands in the 90s of the XX century. *Tez. docl. international conference “Biological bases of sustainable development of coastal marine ecosystems”* (Murmansk, April 25–28, 2001). Apatity: ed. Kola scientific center of the Russian Academy of Sciences, 2001. P. 233–235.
- Tokranov A.M. 2003. Size-age composition of shortraker rockfish (*Sebastes borealis*) in the Pacific waters adjacent south-east Kamchatka and the North Kuril Islands in restricted fishing conditions. *Materials of XIX international scientific conference “Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters”*. Petropavlovsk-Kamchatsky, Nov. 18–19 2003. KamchatNIRO. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 170–172.
- Tokranov A.M. 2004. Distribution and size-age composition of Pacific Ocean perch *Sebastes alutus* (Sebastidae) in the Pacific waters adjacent the North Kuril Islands and south-east Kamchatka by late XX and early XXI. *Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers*. Vol. 7. KamchatNIRO. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 207–214.
- Tokranov A.M., Orlov A.M., Sheiko B.A. 2005. Commercial fishes of the continental slope of Kamchatka and adjacent waters. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress. 52 p., ill. 12.
- Chugunova N.I. 1959. Guide to studying the age and growth of fish. Moscow. Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 164 p.

REFERENCES

- Archibald C.P., Shaw W., Leaman B.M. 1981. Growth and mortality estimates of rockfish (Scorpaenidae) from British Columbia coastal waters, 1977–1979. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. № 1048. 57 p.
- Chilton D.E., Beamish R.J. 1982. Age determination methods for fishes studied by the ground program at the Pacific Biological Station. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 60. 102 p.
- Hutchinson C.E., Kastle C.R., Kimura D.K., Gunderson D.R. 2007. Developing ageing criteria for shortraker rockfish (*Sebastes borealis*) using radiometric ages to develop conventional ageing methods for shortraker rockfish (*Sebastes borealis*). Alaska sea grant in biology, assessment, and management of North Pacific rockfishes biology, assessment, and management of North Pacific rockfishes. P. 237–249.
- Pentilla J., Dery L. 1988. Age determination methods for North Atlantic species. NOAA Technical Report NMFS 72. P. 137.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Зудина Светлана Михайловна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; научный сотрудник отдела науки и инноваций; Zudina_SM@kamchatgtu.ru.

Zudina Svetlana Mikhailovna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Research of Science and Innovations Department; Zudina_SM@kamchatgtu.ru.

Овчеренко Рината Таалайбековна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский, аспирант; Камчатский филиал Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО); 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший специалист лаборатории морских рыб КамчатНИРО; Madimarova.r.m@kamniro.ru.

Ovcherenko Rinata Taalaibekovna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Postgraduate Student; Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Specialist of Marine Fish Laboratory of KamchatNIRO; Madimarova.r.m@kamniro.ru.

УДК [591.8:567.8](282.247.416.8)

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-52-74-85

**ГИСТОПАТОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ОЗЕРНОЙ ЛЯГУШКИ
PELOPHYLAX RIDIBUNDUS (PALLAS, 1771) ИЗ ВОДОЕМОВ
КОЛЬЦОВО-МОРДОВИНСКОЙ ПОЙМЫ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Минеев А.К.

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, ул. Комзина, 10.

Приводится анализ гистологического состояния некоторых внутренних органов озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771)) из акватории Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища как маркеров антропогенного загрязнения водоемов. В условиях исследованных водоемов у амфибий наблюдали признаки хронического токсикоза, степень выраженности которого соответствовала 2–4 баллам согласно пятибалльной системе оценки токсикологического состояния животных. Обнаружено два типа гистопатологий печени и по одному типу гистопатологий селезенки и гонад. В тканях мочевого пузыря, почек и сердца патологий не обнаружено. Разнообразие обнаруженных гистопатологий изменений печени может являться следствием воздействия на гидробионтов широкого диапазона поллютантов органической и неорганической природы, присутствующих в воде водохранилища.

Ключевые слова: гистопатологии внутренних органов, озерная лягушка, Саратовское водохранилище.

**HISTOPATHOLOGY OF THE INTERNAL ORGANS IN THE LAKE FROG
PELOPHYLAX RIDIBUNDUS (PALLAS, 1771) FROM RESERVOIRS
OF KOLTSOVO-MORDOVIN FLOODPLAIN OF SARATOV RESERVOIR**

Mineev A.K.

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Tolyatti, Komzina Str. 10.

The histological state of some internal organs of the lake frog (*Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771)) from Koltsovo-Mordovin floodplain of the Saratov reservoir was analyzed as an effective indicator of the anthropogenic pollution. In studied reservoirs, amphibians showed signs of chronic toxicosis, the severity of which corresponded to 2–4 points, according to the five-point system for assessing the toxicological condition of animals. Two types of histopathologies of the liver and 1 type of histopathology of the spleen and gonads were found. No pathologies were found in the tissues of the bladder, kidneys and heart. The variety of detected histopathologies of liver may be the result of exposure of hydrobionts to a wide range of organic and inorganic pollutants present in the water of the reservoir.

Key words: histopathology of internal organs, lake frog, Saratov reservoir.

ВВЕДЕНИЕ

Многофакторное антропогенное воздействие (гидростроительство, химическое и тепловое загрязнение, промысел, браконьерство и др.) неизбежно влечет за собой деградацию водных и биологических ресурсов. Важнейшим гистофизиологическим маркером состояния организма и его реакции на экологический фон является состояние внутренних органов, выполняющих множество разнообразных функций: метаболических, в том числе детоксикационных, репродуктивных и т. д. Наиболее полную информацию о состоянии всего организма отдельной особи предоставляет гистологическое исследование таких органов, как печень, селезенка, почки, гонады. Все же регистрировали случаи, когда у определенных гидробионтов визуальные симптомы интоксикации могли отсутствовать, и патоморфологические изменения внутренних органов и тканей являлись единственным показателем вредного воздействия на организмы токсикантов [Селюков, 2007].

Амфибии, большую часть времени проводящие в водной среде, в течение своего продолжительного жизненного цикла способны аккумулировать значительное количество поллютантов различной природы, что делает их удобным объектом биоиндикации [Романова, Рябина, 2019]. При обитании в условиях техногенного воздействия морфометрические и морфофизиологические особенности амфибий (гематологические показатели, индексы внутренних органов, размеры тела и т. д.) отличаются от таковых у одновозрастных особей из чистых водоемов [Пескова, 2005; Романова, Рябина, 2019].

Целью настоящей работы является оценка гистопатологического состояния внутренних органов особей озерной лягуш-

ки, отловленных в Кольцово-Мордовинской пойме Саратовского водохранилища, воды которого подвержены значительному антропогенному воздействию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отлов животных осуществлялся в весенне-осенний период 2008 г. в пойменных водоемах Саратовского водохранилища, расположенных на территории Кольцово-Мордовинской поймы (53°10' с. ш., 49°26' в. д.). При помощи гидробиологических сачков было собрано 42 экземпляра озерной лягушки в возрасте 2–5 лет, среди которых было 20 самок и 22 самца. Работа с животными проводилась в соответствии с Европейской Конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986, ETS № 123).

Органы амфибий для гистологического анализа, включая печень, селезенку, гонады, почки, мочевой пузырь и сердце, как с признаками аномалий, так и лишенные внешних проявлений патологического процесса, отбирались на месте вылова особей. Для того чтобы сохранить картину тканевой структуры, соответствующую исходному состоянию и избежать некротических изменений, происходящих в образцах тканей, изолированных от организма, фрагменты тканей подвергались фиксации. Органы амфибий полностью или фрагментарно помещались в фиксирующую жидкость, состоящую из 85 частей 96%-ного этанола, 10 частей 40%-ного формальдегида и пяти частей ледяной уксусной кислоты, из расчета объемного соотношения: 20% – объем органа или его фрагмента, 80% – объем фиксатора. Фиксация тканей осуществлялась по методу Лилли в течение пяти суток при 3°C с ежедневным обновлением порции фиксирую-

щей жидкости. Для обезвоживания и уплотнения гистологического материала и изготовления гистологических препаратов (парафиновые срезы, 8 микрон) использовали стандартные методики [Микодина и др., 2009]. Окрашивание железным гематоксилином производилось по методу Вейнгарта с доокрашиванием нейтральным эозином [Микодина и др., 2009].

Микрофотографии гистологических препаратов выполнены при помощи окулярной цифровой микрофотокамеры «Levenhuk C-Series C510 NG». Для статистического анализа применяли программный пакет STATISTICA Statsoft, Inc. (v. 6) и MS Excel (2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водные объекты Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища расположены на территории национального парка «Самарская Лука». Несмотря на удаленность от крупных населенных пунктов – гг. Тольятти, Самары и Чапаевска, которые являются крупными промышленными центрами, значимых объектов транспортной инфраструктуры, – автотрасс, железнодорожных путей, речных портов и т. д., данные акватории испытывают определенный уровень антропогенной нагрузки.

Водоемы, из которых вылавливались особи озерной лягушки, большую часть года являются изолированными от акватории Саратовского водохранилища, за исключением реки Студенки, протяженность которой составляет около 2 км, а устьевой участок подтоплен водохранилищем. Состав антропогенного загрязнения этих пойменных акваторий складывается из диффузного стока с сельхозугодий, локальных источников загрязнения от лодочных стоянок и мелких населенных пунктов (с. Мордово, п. Новый путь).

Часть загрязнений поступает в период половодья от расположенных выше поймы по течению р. Самары и устья р. Чапаевки.

Одним из основных источников загрязнения Кольцово-Мордовинской поймы являются диффузный водосбор с сельскохозяйственных угодий Правобережья р. Волги и последующее накопление пестицидов, гербицидов, инсектицидов, содержащих Cu, Zn, Cd и Pb в воде и донных отложениях пойменных водоемов. В результате во многих водоемах Кольцово-Мордовинской поймы наблюдаются превышения рыбохозяйственных ПДК по соединениям меди (от 1,0 до 3,5 ПДК), цинка (до 4,1 ПДК), свинца (до 0,333 мг/дм³) и т. д. [Минеев, 2017]. При этом на протяжении всего периода исследования кислородный режим в исследованных водоемах и водотоках являлся благоприятным для гидробионтов.

В сложившихся экологических условиях пойменных водоемов у 36 особей озерной лягушки обнаружены гистопатологии печени, три экземпляра имели новообразования в селезенке, и у двух животных зафиксированы гистопатологии гонад (табл. 1). Лишь у шести обследованных амфибий ($14,3 \pm 5,47\%$) не было обнаружено никаких гистологических нарушений, тогда как основу популяции составляли больные животные.

В тканях мочевого пузыря, почек и сердца всех 42 обследованных особей не обнаружено никаких гистопатологий (табл. 1), что, по-видимому, можно объяснить высокой функциональной защищенностью этих органов от внешних неблагоприятных воздействий.

Печень амфибий, выполняющая множество метаболических функций, в том числе детоксикационную, является важнейшим гистофизиологическим маркером состояния организма и его реакции на экологический фон. В то же время все изме-

нения (как негативные, так и позитивные), происходящие в этом органе, как правило, являются достаточно скоротечными, что позволяет отслеживать связь изменений внешней среды с патологическими процессами в организме гидробионтов.

Гистологический анализ показал, что у значительной части изученных нами особей лягушки печень была в различной степени гиперемирована (табл. 2), что свидетельствует об ее интенсивном функционировании. Этот вид повреждений относят к нарушениям циркуляторного типа, которые обычно являются первыми признаками патологических процессов в органе, и по пятибалльной системе [Грушко и др., 2013] оценивается как легкий, не угрожающий животным гибелью (2 балла).

В обычных условиях печени свойственна высокая реактивность и большой резерв функциональной способности. В условиях патологии функции печени нарушаются, а морфологическим признаком этих нарушений часто служат дистрофии, инфильтрации, некрозы и т. д., часто выявляемые у низших позвоночных гидробионтов, в частности – у рыб [Fish pathology, 1989; Крючков и др., 2006].

Пигментированные опухоли, регистрируемые достаточно часто (табл. 2), представляют собой плотные новообразования

с хорошо оформленными границами, состоящие из гранул, окрашенных в более темный, чем окружающие ткани, или черный цвета (рис. 1, 1 и 1, 2). У исследованных амфибий количество подобных новообразований варьировало от одного до нескольких десятков (рис. 1, 3а). Отложение гранул пигмента в паренхиме органа является весьма характерным признаком токсического поражения печени [Крючков и др., 2006]. Подобные новообразования также находили в печени массовых видов рыб из того же участка Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища в 2003–2013 гг., что подтверждает антропогенное происхождение данных нарушений. Так, у плотвы и леща встречаемость таких особей составила 4,7% и 4,6%, а среди ротана-головешки процент таких рыб составил 8,0% за весь период исследования [Минеев, 2017].

Инфильтрация клеток крови (рис. 1, 3б), обнаруженная у 9,5% особей озерной лягушки (табл. 2), относится к воспалительным типам изменений, т. е. связанным с иммунными процессами. Различные клетки крови, включая эритроциты, лимфоциты, нейтрофилы, эозинофилы, моноциты и т. д., инфильтруются из сосудов печени в пространство между гепатоцитами и печеночными дольками.

Таблица 1. Встречаемость особей озерной лягушки с гистопатологиями внутренних органов в водоемах Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища на территории национального парка «Самарская Лука»

Table 1. Occurrence of individuals of lake frogs with histopathologies of internal organs in reservoirs of the Koltsovo-Mordovin floodplain of the Saratov reservoir on the territory of national Park «Samara Luka»

Обследованный орган	Число особей с гистопатологиями обследованного органа, экз.	Доля особей с гистопатологиями обследованного органа, %
Печень	36	85,7 ± 5,47
Селезенка	3	7,1 ± 4,02
Гонады	2	4,8 ± 3,33
Мочевой пузырь	0	0,0
Почки	0	0,0
Сердце	0	0,0

Таблица 2. Встречаемость амфибий с различными типами патологий печени

Table 2. Occurrence of amphibians with various types of liver pathologies

Тип патологии печени	Доля особей с данным типом патологии печени, %
1. Гиперемия	$85,7 \pm 5,47$ (36 особей)
2. Включения пигментированных образований	$33,3 \pm 7,36$ (14 особей)
3. Очаговая инфильтрация	$9,5 \pm 4,58$ (4 особи)
4. Некроз гепатоцитов	$4,8 \pm 3,33$ (2 особи)
Число обследованных особей, экз.	42

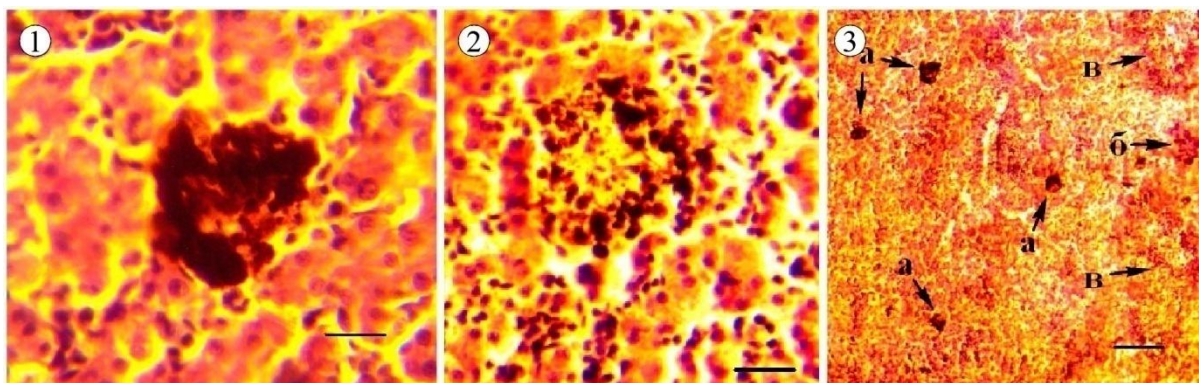


Рис. 1. Срезы печени озерной лягушки, окрашенные железным гематоксилином Вейнгарта и нейтральным эозином: 1 – сильно пигментированное одиночное новообразование; 2 – слабо пигментированное одиночное новообразование; 3 – множественные пигментированные новообразования (а, стрелки) на фоне очагов инфильтрации (б, стрелка) и некроза гепатоцитов (в, стрелки). Масштаб: 5 мкм (1), 10 мкм (2), 40 мкм (3)

Fig. 1. Cross-sections of the liver of a lake frog stained with Weingart iron hematoxylin and neutral eosin: 1 – highly pigmented single neoplasm; 2 – poorly pigmented single neoplasm; 3 – multiple pigmented neoplasms (a, arrows) on the background of foci of infiltration (б, arrow) and necrosis of hepatocytes (в, arrows). Scale: 5 μ m (1), 10 μ m (2), 40 μ m (4)

При этом срез печени имеет ярко выраженный мраморный рисунок (рис. 1, 3б), так как сгустки клеток крови образуют в ткани темно-красные образования в виде пятен и прожилок вдоль мелких кровеносных сосудов. Данная патология, как правило, предшествует дисплазии печеночных тканей, так как некоторые лейкоциты (нейтрофилы и эозинофилы) выполняют фагоцитарную функцию. У рыб из тех же водоемов количество особей с инфильтрацией клеток крови в ткань печени значительно превосходило таковое среди амфибий и достигало 17,1% у леща при 0,8; 11,6 и 11,1% среди ротана-головешки, плотвы и окуня соответственно [Минеев, 2017].

Некроз (дисплазия) гепатоцитов, обнаруженный у 4,8% изученных особей лягушек (табл. 2), относится к наиболее серьезным патологиям. Наличие некрозов всегда свидетельствует о тяжелом, прогрессирующем течении патологического процесса, причинами которого часто выступают загрязнения вод тяжелыми металлами либо паразитарные инвазии [Tramp et al., 1975; Kent et al., 1988; Hibiya, 1996]. Деструктивные изменения клеточного ядра (кариорексис, кариопикноз и кариолизис) и цитоплазмы гепатоцитов всегда являются характерными микроскопическими признаками некроза тканей [Крючков и др., 2006]. Встречаемость рыб с некрозом пече-

ни в тех же обследованных водоемах варьировала от 11,6% у плотвы до 14,8% у леща, что является еще одним доказательством антропогенного загрязнения акваторий Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища [Минеев, 2017].

По нашему мнению, качество водной среды является основным фактором, обуславливающим патологические изменения печени обследованных амфибий. Воды Саратовского водохранилища в исследуемом районе на протяжении ряда лет характеризуются как «загрязненные» и «грязные» 3 А и 3 Б класса качества [Государственный доклад ..., 2014]. Акватория Кольцово-Мордовинского участка водохранилища находится под воздействием поллютантов различных групп. Это, прежде всего, техногенные загрязнения, поступающие в водоем из расположенных выше по течению крупных промышленных центров (гг. Тольятти, Самара, Чапаевска).

У обследованных особей амфибий печень являлась органом, наиболее подверженным негативным преобразованиям в экологических условиях Саратовского водохранилища. Максимальным было как количество особей с гистопатологиями печени, так и разнообразие морфофункциональных нарушений данного органа. Однако единичные патологии тканей были зафиксированы в селезенке и гонадах отдельных особей озерной лягушки.

У взрослых амфибий селезенка является не только органом, отчасти регулирующим клеточный состав красной крови, но и сохраняет некоторые функции кроветворения, как, например, у взрослых рыб или личиночных стадий исследуемой озерной лягушки. Гистопатологии этого органа неизбежно должны приводить к нарушению основных физиологических функций всей кровеносной системы, функций иммунитета и, соответственно,

к ухудшению общего состояния организма животных. У 7,1% исследованных животных (см. табл. 1) новообразования, отличающиеся от таковых, обнаруженных в печени, зафиксированы в селезенке (рис. 2, 1). Это единственный тип гистопатологии, зафиксированный нами в селезенке у амфибий Саратовского водохранилища. По размерам и форме новообразования в селезенке амфибий аналогичны опухолям, обнаруженным в печени, однако они имеют очень слабую пигментацию и железистую структуру (рис. 2, 1).

Единственный тип гистопатологии яичников – резорбция превителлогенных ооцитов, обнаружен у 10,0% обследованных самок озерной лягушки из водоемов Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища. Любые гистопатологии воспроизводительной системы животных оказывают непосредственное негативное влияние на репродуктивные функции отдельной особи, то есть выводят ее из процесса размножения, что снижает общие количественные и качественные показатели пополнения популяции. Однако все гистопатологии гонад можно разделить на две основные группы: обратимые – позволяющие вернуться воспроизводительной системе к состоянию нормы, а также необратимые – приводящие к дальнейшей дегенерации генеративной ткани и стерилизации особей. К необратимым гистопатологиям гонад относятся различные соединительнотканые и кистозные новообразования, липоидные дегенерации, некротические и другие изменения. Резорбция превителлогенных ооцитов, обнаруженная в нашем случае у нерестившихся особей озерной лягушки, является обратимой гистопатологией, при которой животные могут полноценно вступить в процесс размножения в следующий нерестовый сезон при более благоприятных экологических условиях.

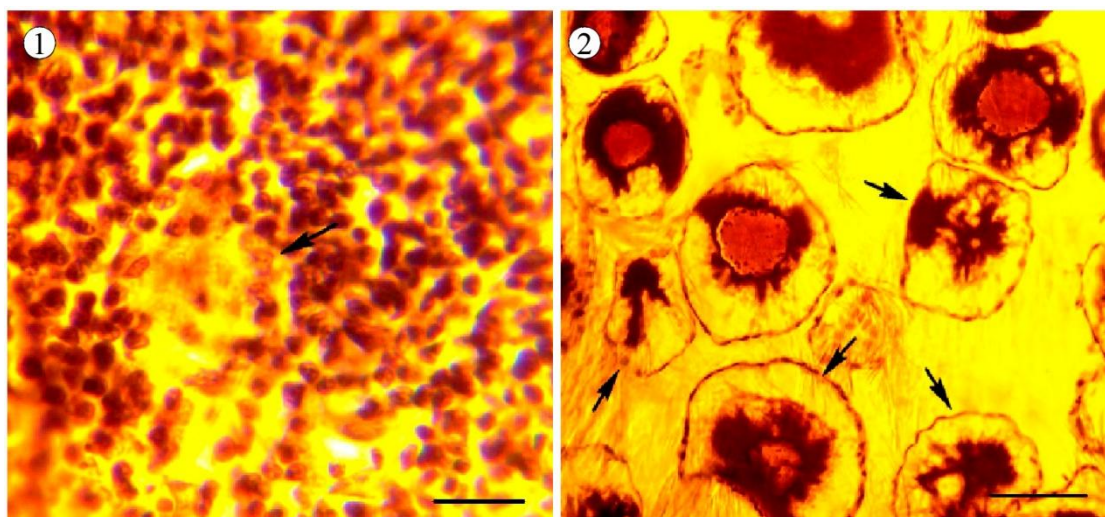


Рис. 2. Срезы селезенки и яичника озерной лягушки, окрашенные железным гематоксилином Вейнгарта и нейтральным эозином: 1 – селезенка: слабо пигментированное одиночное новообразование; 2 – яичник: резорбция превителлогенных ооцитов (показано стрелками). Масштаб: 10 мкм (1), 100 мкм (2)

Fig. 2. Staining with Weingart iron hematoxylin and neutral eosin: 1 – spleen: poorly pigmented single neoplasm; 2 – ovary: resorption of previtellogenic oocytes (indicated by arrows). Scale: 10 μ m (1), 40 μ m (2, 3), 100 μ m (4)

Известно, что резорбция половых клеток у гидробионтов, в частности у рыб, может быть физиологически нормальным процессом, если наблюдается у отнерестившихся особей и при становлении конечной плодовитости, и патологическим в случае массовой резорбции половых клеток в период гаметогенеза [Фалеева, 1965; Макеева, 1992]. Достижение однородности ооцитов в процессе созревания осуществляется за счет резорбции прогрессирующих в развитии половых клеток. В связи с этим резорбцию единичных ооцитов можно рассматривать как норму в гаметогенезе рыб [Кузьмин, Чуватова, 1975]. У амфибий, как у низших позвоночных-гидробионтов, процессы гаметогенеза и нарушения в них протекают аналогичным образом. Показано, что при воздействии таких поллютантов, как соли тяжелых металлов и пестициды в больших концентрациях, у амфибий наблюдаются разнообразные нарушения развития гонад, что резко ухудшает их репродуктивные возможности [Пескова, 2005].

Известны случаи гистологических нарушений в семенниках озерной лягушки, населяющей антропогенно трансформированные территории Южного Урала. Анализ гистологических препаратов семенников животных, обитающих в антропогенно нарушенных территориях, выявил наличие выраженных закономерно проявляющихся неспецифических деструктивных изменений, затрагивающих сперматогенный эпителий и клеточные элементы интерстиция органа, что свидетельствует о нарушении репродуктивных возможностей половозрелых особей позвоночных [Шевлюк и др., 2017]. При этом глубина и степень морфологических нарушений в эндокринном компартменте была более выражена у амфибий, отловленных в непосредственной близости от предприятия цветной металлургии (на расстоянии до 3 км) [Шевлюк и др., 2017].

В наших исследованиях гистопатологий семенников у обследованных животных не выявлено, однако нередко наблюдались незначительные аномалии в мор-

фологии этого парного органа – асимметрия, различия в размерах между правым и левым семенниками, слабовыраженные перетяжки одного или обоих семенников. Подобные аномалии неоднократно наблюдались и в яичниках разновозрастных самок. Данные нарушения при отсутствии гистопатологий, по-видимому, не влияли на функциональное состояние обследованных гонад и морфофизиологический статус обследованных животных.

Массовая резорбция ооцитов периодов превителлогенеза, по мнению многих исследователей, является реакцией системы воспроизводства самок на изменение качества водной среды и свидетельствует о нарушении условий размножения, что было продемонстрировано на рыбах [Моисеева и др., 1997; Чеботарева и др., 1997; Акимова и др., 2000]. Таким образом, резорбция ооцитов может являться адаптационной реакцией воспроизводительной системы гидробионтов на неблагоприятное состояние окружающей среды, направленной на сохранение энергетических ресурсов организма для последующих нерестовых периодов в благоприятных внешних условиях.

Более ранними исследованиями установлено, что резорбция превителлогенных ооцитов у рыб является наиболее частой реакцией воспроизводительной системы самок в ответ на действие различных групп токсикантов [Акимова, Рубан, 1992; Белова и др., 2001; Лукин, Шарова, 2002]. Процесс резорбции характеризуется изменением структуры оболочек ооцита, сопровождающимся истончением и появлением мелких вакуолей в студенистой оболочке, граничащей с фолликулярной [Акимова, Рубан, 1996]. Впоследствии происходит разрушение оболочки ядра и, как следствие, смешивание кариоплазмы с ооплазмой, нарушается также структура желточных включений [Акимова, Рубан,

1996]. Аналогичные процессы были зафиксированы у обследованных самок озерной лягушки, при этом резорбция превителлогенных ооцитов у двух особей имела массовый характер. Несмотря на то, что образцы для исследования были собраны в 2008 г., результаты актуальны в настоящее время, поскольку показаны типичные патогистологические изменения органов животных-биоиндикаторов, характерные для водоемов, испытывающих антропогенное загрязнение, вне зависимости от времени сбора биологического материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гистологический анализ некоторых внутренних органов озерной лягушки, являющейся эффективным тест-объектом загрязнения окружающей среды, выявил различные типы гистопатологий печени. Некоторые из них, такие как пигментированные новообразования, инфильтрации клеток крови в паренхиму печени и некрозы, являются явными признаками интоксикации особей и развития глубокого патологического процесса. Количество амфибий с гистопатологиями печени, которые являются достаточно тяжелыми и выраженными также значительно: до 33,3% экземпляров с новообразованиями, 9,5% – с очаговой инфильтрацией и 4,8% – с некрозом. В селезенке и гонадах обследованных животных также обнаружены единичные гистопатологии.

Наиболее вероятной причиной обнаруженных морфофункциональных отклонений, по нашему мнению, является антропогенная трансформация водоемов Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища, а именно – присутствие в воде различных антропогенных загрязнений. Так как озерная лягушка является аккумулярующим биоиндикатором,

то есть способна накапливать загрязнители до уровня, превышающего таковой в окружающей среде, то использование ее в качестве показателя экологического состояния окружающей среды вполне обоснованно и оправданно. В свою очередь, доказана эффективность использования гистологического состояния внутренних органов как основного и достаточно чувствительного показателя состояния организма и его реакции на экологический фон.

ЛИТЕРАТУРА

- Акимова Н.В., Попова О.А., Решетников Ю.С. 2000. Морфологическое состояние репродуктивной системы рыб в водоемах Кольского полуострова. *Вопросы ихтиологии*. Т. 40. № 2. С. 282–285.
- Акимова Н.В., Рубан Г.И. 1992. Анализ воспроизводительной системы рыб в связи с проблемами биоиндикации на примере сибирского осетра *Acipenser baeri*. *Вопросы ихтиологии*. Т. 32. № 6. С. 102–109.
- Акимова Н.В., Рубан Г.И. 1996. Систематизация нарушений воспроизводства осетровых (*Acipenseridae*) при антропогенном воздействии. *Вопросы ихтиологии*. Т. 36. № 1. С. 65–80.
- Белова Н.В., Емельянова Н.Г., Макеева А.П., Рябов И.Н. 2001. Состояние воспроизводительной системы рыб из озера Кожановское (Брянская область), загрязненного радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. *Вопросы ихтиологии*. Т. 41. № 3. С. 358–367.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2013 год. 2014. Вып. 24. Самара: Изд-во «ДСМ». 283 с.
- Грушко М.П., Федорова Н.Н., Насиханова М.Н. 2013. Состояние жизненно важных органов судака Волго-Каспийского бассейна. *Вестник АГТУ. Серия Рыбное хозяйство*. № 3. С. 108–112.
- Крючков В.Н., Дубовская А.В., Фомин И.В. 2006. Особенности патологической морфологии печени рыб в современных условиях. *Вестник АГТУ*. № 3 (32). С. 94–100.
- Кузьмин А.Н., Чуватова А.М. 1975. Развитие половых желез у самок невского проходного сига (*Coregonus lavaretus* L.). *Известия ГосНИОРХ*. Т. 104. С. 130–139.
- Лукин А.А., Шарова Ю.Н. 2002. Патологии микроструктуры генеративных органов самок сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра. *Вопросы ихтиологии*. Т. 42. № 1. С. 114–120.
- Макеева А.П. 1992. Эмбриология рыб. М.: Изд-во Московского ун-та. 216 с.
- Микодина Е.В., Седова М.А., Чмилевский Д.А., Микулин А.Е., Пьянова С.В., Полуэктова О.Г. 2009. Гистология для ихтиологов: Опыт и советы. М.: ВНИРО. 112 с.
- Минеев А.К. 2017. Современное морфофизиологическое состояние массовых видов рыб в экологических условиях водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги. *Диссертация ... д-ра биол. наук*. Тольятти. 378 с.
- Моисеева Е.Б., Федоров С.И., Парфенова Н.А. 1997. О нарушениях строения половых желез у самок осетровых (*Acipenseridae*) Азовского моря. *Вопросы ихтиологии*. Т. 37. № 5. С. 660–666.
- Пескова Т.Ю. 2005. Адаптационная изменчивость земноводных в антропогенно загрязненной среде. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. № 3. С. 66–70.
- Романова Е.Б., Рябинина Е.С. 2019. Скрининговый цитогенетический метод учета микроядер в крови прудовых лягушек как индикатор состояния водных биологических ресурсов. *Вестник Кам-*

чатского государственного технического университета. № 49. С. 43–49.

Селюков А.Г. 2007. Морфофункциональный статус рыб Обь-Иртышского бассейна в современных условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та. 184 с.

Фалеева Т.И. 1965. Анализ атрезии ооцитов у рыб в связи с адаптивным значением этого явления. *Вопросы ихтиологии*. Т. 5. № 3. С. 455–470.

Чеботарева Ю.В., Савоскул С.П., Савваитова К.А. 1997. Аномалии в строении воспроизводительной системы самок рыб Норило-Пясинских водоемов Таймыра. *Вопросы ихтиологии*. Т. 37. № 2. С. 217–223.

Шевлюк Н.Н., Рыскулов М.Ф., Блинова Е.В., Максимова А.С., Суербасева А.Г., Плотникова И.Г. 2017. Гистофизиология эндокринных структур семенников амфибий, рептилий и мелких млекопитающих, населяющих антропогенно трансформированные территории Южного Урала. *Журнал анатомии и гистопатологии*. Т. 6. № 3. С. 86–90.

Fish pathology. 1989. London, Philadelphia, Sydney, Tokyo, Toronto: Stirling Univ. 383 p.

Hibiya E.T. 1996. An atlas of fish histology: normal and pathological features. N.Y.: Kodansha Ltd. 147 p.

Kent M.L., Myers M.S., Hinton D.E., Eaton W.D., Elston R.A. 1988. Suspected toxicopathic hepatic necrosis and megalocytosis in pen-reared Atlantic salmon *Salmo salar* in Puget Sound. Washington, USA. *Dis. Aquat. Org.* V. 4. P. 91–100.

Tramp B.F., Jones R.T., Sahaphong S. 1975. Cellular effects of mercury on fish kidney tubules: The pathology of fishes. Wis. Univ.: Wisconsin Press. P. 585–612.

REFERENCES

Akimova N.V., Popova O.A., Reshetnikov Yu.S. 2000. Morphological state of the fish reproductive system in the reservoirs of the Kola Peninsula. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 40. № 2. P. 282–285.

Akimova N.V., Ruban G.I. 1992. Analysis of the fish reproductive system in connection with bioindication problems on the example of the Siberian sturgeon *Acipenser baeri*. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 32. № 6. P. 102–109.

Akimova N.V., Ruban G.I. 1996. Systematization of violations of reproduction of sturgeon (Acipenseridae) under anthropogenic influence. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 36. № 1. P. 65–80.

Belova N.V., Emelyanova N.G., Makeeva A.P., Ryabov I.N. 2001. The condition of the reproductive system of fish from lake Kozhanovskoe is accepted (Bryansk region), contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 41. № 3. P. 358–367.

State report on the state of the environment and natural resources of the Samara region for 2013. 2014. Vol. 24. Samara: DSMpress. 283 p.

Grushko M.P., Fedorova N.N., Nasikhonova M.N. 2013. State of vital organs of pike perch in the Volgo-Caspian basin. *Vestnik AGTU. Series: Rybnoye khozyaystvo (Bulletin of Astrakhan State Technical University. Fisheries Series)*. № 3. P. 108–112.

Kruchkov V.N., Dubovskaya A.F., Fomin I.V. 2006. Peculiarities of pathologic morphology of fish liver in modern conditions. *Vestnik AGTU (Bulletin of Astrakhan State Technical University)*. № 3(32). P. 94–100.

Kuzmin A. N., Chuvatova A.M. 1975. Development of sexual glands in females of the

- Neva pass whitefish (*Coregonus lavaretus* L.). *Izvestiya GosNIORKh (Proceedings of State Scientific Institute of Lake Science and Fisheries)*. Vol. 104. P. 130–139.
- Lukin A. A., Sharova Yu. N. 2002. Pathologies of the microstructure of generative organs of female whitefish *Coregonus lavaretus* Lake Imandra. *Voprosi Ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 42. № 1. P. 114–120.
- Makeeva A.P. 1992. Embryology of fish. Moscow: Mosk. Univ.-press. 216 p.
- Mikodina E.V., Sedova M.A., Chmilevsky D.A., Mikulin A.E., Pyanova S.V., Poluektova O.G. 2009. Histology for ichthyologists: Experience and advice. Moscow: VNIRO-press. 112 p.
- Mineev A.K. 2017. Modern morphophysiological state of mass fish species in the ecological conditions of reservoirs and watercourses of the Middle and Lower Volga. *Doctoral dissertation for biological sciences*. Tolyatti. 378 p.
- Moiseeva E.B., Fedorov S.I., Parfenova N.A. 1997. On violations of the structure of the sexual glands in female sturgeon (Acipenseridae) Azov Sea. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 37. № 5. P. 660–666.
- Peskova T.Yu. 2005. Adaptive variability of amphibians in an anthropogenically polluted environment. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennyye nauki (University news. North Caucasus region. Natural Sciences)*. № 3. P. 66–70.
- Romanova E.B., Ryabinina E.S. 2019. Screening cytogenetic method for recording micronuclei in the blood of *Pelophylax lessonae* as a state indicator of aquatic biological resources. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 49. P. 43–49.
- Selyukov A.G. 2007. Morphological and functional status of fishes of the Ob-Irtysh watershed in the modern world. Tyumen: Publishing house of the Tyumen state University. 184 p.
- Faleeva T.I. 1965. Analysis of oocyte atresia in fish due to the adaptive value of this phenomenon. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 5. № 3. P. 455–470.
- Chebotareva Yu. V., Savoskul S.P., Savvaitova K.A. 1997. Anomalies in the structure of the reproductive system of female fish of The Noril-Pyasinsk reservoirs of Taimyr. *Voprosi ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 37. № 2. P. 217–223.
- Shevlyuk N.N., Ryskulov M.F., Blinova E.V., Maksimova A.S., Syerbaeva A.G., Plotnikova I.G. 2017. Histophysiology of Endocrine Structures in Testes of Amphibians, Reptiles and Small Mammals Inhabiting Anthropogenically Transformed Ecosystems of the South Urals. *Zhurnal anatomii i gistopatologii (Journal of anatomy and histopathology)*. Vol. 16. № 3. P. 86–90.
- Fish pathology. 1989. London, Philadelphia, Sydney, Tokyo, Toronto: Stirling Univ. 383 p.
- Hibiya E.T. 1996. An atlas of fish histology: normal and pathological features. N.Y.: Kodansha Ltd. 147 p.
- Kent M.L., Myers M.S., Hinton D.E., Eaton W.D., Elston R.A. 1988. Suspected toxicopathic hepatic necrosis and megalocytosis in pen-reared Atlantic salmon *Salmo salar* in Puget Sound. Washington, USA. *Dis. Aquat. Org.* Vol. 4. P. 91–100.
- Tramp B.F., Jones R.T., Sahaphong S. 1975. Cellular effects of mercury on fish kidney tubules: The pathology of fishes. Wis. Univ.: Wisconsin Press. P. 585–612.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ
INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Минеев Александр Константинович – Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН; 445003, Россия, Тольятти; доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории популяционной экологии; mineev7676@mail.ru; SPIN-код: 1482-2530, Author ID: 149161, Scopus ID: 15926222300.

Mineev Alexander Konstantinovich – Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of Volga River Basin RAS; 445003, Russia, Tolyatti; Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher of Laboratory of Population Ecology; mineev7676@mail.ru; SPIN-код: 1482-2530, Author ID: 149161, Scopus ID: 15926222300.

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК КАМЧАТГТУ»

Журнал «Вестник КамчатГТУ» выпускается четыре раза в год и публикует результаты научных исследований по направлениям:

05.11.00 – приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы:

- 05.11.01 – Приборы и методы измерений (по видам измерений) (технические науки);
- 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки);
- 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (физико-математические науки).

05.18.00 – технология продовольственных продуктов:

- 05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки);
- 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ (технические науки);
- 05.18.17 – Промышленное рыболовство (технические науки).

03.02.00 – общая биология:

- 03.02.08 – Экология (биологические науки);
- 03.02.04 – Зоология (биологические науки);
- 03.02.10 – Гидробиология (биологические науки);
- 03.02.14 – Биологические ресурсы (биологические науки).

В рамках общих направлений предпочтение отдается следующим профилям:

- научно-информационное обеспечение развития технических систем, контроля природной среды и использования природных ресурсов;
- аквакультура и охрана водных биологических ресурсов и среды их обитания, воздействие природных и антропогенных факторов на состояние водных экосистем;
- пищевые технологии и перерабатывающая техника.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не соответствующие профилю журнала

В журнале печатаются результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Работа должна соответствовать указанным выше направлениям, обладать несомненной новизной, иметь теоретическую и практическую значимость. Рукописи статей должны быть подготовлены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Материалы исследований, присланные в журнал, не должны содержать заимствований из работ, принадлежащих другим ученым. Ссылки на исследования других специалистов даются в порядке, определенном традициями научного сообщества.

Рукописи должны быть оформлены в соответствии с правилами оформления, принятыми в журнале. Журнал публикует статьи на русском языке.

Направление рукописей

Рукописи статей в электронном виде направляются в редакцию журнала по адресу: vestnik@kamchatgtu.ru. Название файла должно содержать фамилию автора статьи.

К рукописи статьи в электронном виде (скан-копии) должны быть приложены:

- анкета-заявка на опубликование. Если у статьи несколько авторов, то сведения предоставляются полностью о каждом из них, указывается автор для переписки с редакцией (Приложение 1);
- согласие автора о передаче права на публикацию рукописи и распространение в российских и международных электронных базах данных (Приложение 2);
- акт экспертизы / экспертное заключение в форме, принятой в направляющей организации;
- разрешение на опубликование материалов от организации, в которой работает автор с подписью руководителя и печатью организации (для внешних авторов).

Рецензирование рукописей

Статьи, присланные в журнал, проходят предварительное (общий допуск) и профильное (официальная рецензия) рецензирование. Вопрос об опубликовании рукописи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала.

Рецензентами журнала являются признанные высококвалифицированные ученые, имеющие степень доктора или кандидата наук с учетом их научной специализации в соответствующих областях науки.

Рукописи, получившие положительную оценку рецензентов, принимаются к опубликованию в журнале на заседании редколлегии журнала.

Рукописи, получившие рекомендации по доработке, отправляются авторам с замечаниями рецензентов. Доработанный вариант и письмо с ответами на замечания рецензентов необходимо прислать в редакцию в указанный срок для повторного рецензирования. Датой представления считается дата поступления в редакцию исправленной рукописи статьи.

В случае если рукопись получила отрицательную оценку рецензентов, автор получает мотивированный отказ в опубликовании.

Решение редакционной коллегии о принятии статьи к печати или ее отклонении сообщается авторам.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала в течение пяти лет.

Копии рецензий представляются в Министерство науки и образования РФ при поступлении в редакцию журнала соответствующего запроса.

Опубликование рукописей

Каждый номер научного журнала комплектуется из рукописей статей, прошедших рецензирование и принятых к опубликованию решением редакционной коллегии с учетом очередности поступления рукописи, ее объема и наполненности разделов.

Преимущественное право на публикацию имеют сотрудники КамчатГТУ, аспиранты, завершающие обучение в аспирантуре, и лица, выходящие на защиту диссертации в ближайшее время.

Автор может опубликовать в одном номере журнала не более одной статьи в качестве единственного автора.

Плата за публикации рукописей не взимается. Гонорар за публикации не выплачивается.

Полнотекстовые электронные версии выпусков журналов размещаются на сайте КамчатГТУ (<http://www.kamchatgtu.ru>), в Научной электронной библиотеке (НЭБ) (<http://elibrary.ru>).

Печатная версия журнала высылается по всем обязательным адресам рассылки.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах размещаются в свободном доступе на сайте журнала, в электронных системах цитирования (базах данных) на русском и английском языках.

Приложение 1

Анкета-заявка

Полные Ф.И.О.	На русском и английском языках
Название статьи	На русском и английском языках
Ученая степень	На русском и английском языках
Ученое звание	На русском и английском языках
Должность (с указанием структурного подразделения)	На русском и английском языках
Место работы	На русском и английском языках
Адрес места работы (обязательно указать индекс)	На русском и английском языках
Членство в академиях (РАЕН, РАН, МАНЭБ, Военная и др.)	На русском и английском языках
Номера телефонов (мобильный, служебный, домашний)	
Адрес электронной почты (e-mail)	

**Согласие автора
о передаче права на публикацию рукописи в научном журнале
«Вестник Камчатского государственного технического университета»
и распространение в российских и международных электронных базах данных**

Я, нижеподписавшийся, _____

(Ф., И., О. автора)

автор рукописи _____

(название рукописи)

передаю на безвозмездной основе редакции научного журнала **«Вестник Камчатского государственного технического университета»** неисключительное право на опубликование этой рукописи статьи (далее – Произведение) в печатной и электронной версиях научного журнала **«Вестник Камчатского государственного технического университета»**, а также на распространение Произведения путем размещения его электронной копии в базе данных «Научная электронная библиотека» («НЭБ»), представленной в виде информационного ресурса сети Интернет elibrary.ru. Территория, на которой допускается использование вышеуказанных прав на Произведение, не ограничена.

Я подтверждаю, что указанное Произведение нигде ранее не было опубликовано.

Я подтверждаю, что данная публикация не нарушает авторские права других лиц или организаций.

С правилами представления статей в редакцию научного журнала **«Вестник Камчатского государственного технического университета»** согласен / согласна.

наименование
организации

должность

дата

подпись

расшифровка
подписи

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

Объем

Объем содержательной части рукописи статьи (введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение) не менее 5 страниц (без учёта таблиц, рисунков и списка литературы) для оригинальных статей и не более 24 страниц для статей-ревизий.

Рекомендуемая структура

Статья должна быть структурирована и включать следующие разделы: введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, литература.

Правила набора

Текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman; размер шрифта: основной 11,5, вспомогательный 10,5; абзацный отступ – 0,7 см; междустрочный интервал – 1,2. Поля: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, правое – 20 мм, левое – 20 мм.

Начало статьи

Через один междустрочный интервал последовательно приводятся следующие сведения:

- индекс универсальной десятичной классификации (УДК), выровненный влево (шрифт 11,5); **на русском языке** указываются
- название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, с выравниванием по центру (шрифт 11,5, междустрочный интервал – 1);
- фамилии и инициалы авторов последовательно с выравниванием по левому краю (шрифт 11,5, междустрочный интервал – 1);
- название организации, в которой работают авторы, адрес организации (с выравниванием по левому краю, шрифт 11,5, междустрочный интервал – 1);
- текст краткой аннотации (не менее 75 и не более 120 слов), выровненный по ширине полосы (шрифт 10,5, междустрочный интервал – 1); аннотация должна содержать краткое изложение проблемы, указание на технологию или методы исследования, результаты исследования с акцентом на их новизну;
- ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы (шрифт 10,5, междустрочный интервал – 1);
- далее на английском языке** через один междустрочный интервал указываются
- название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, с выравниванием по центру (шрифт 11,5, междустрочный интервал – 1);
- фамилии и инициалы авторов последовательно с выравниванием по левому краю (шрифт 11,5, междустрочный интервал – 1);
- название организации, в которой работают авторы, адрес организации (с выравниванием по левому краю, шрифт 11,5, междустрочный интервал – 1);
- текст краткой аннотации, выровненный по ширине полосы (шрифт 10,5, междустрочный интервал – 1);
- ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы (шрифт 10,5, междустрочный интервал – 1).

Образец оформления начала статьи

УДК

ДЕСТРУКЦИЯ ТКАНЕЙ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *SACCHARINA BONGARDIANA* В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОГЕЛЯ

Иванов А.А.¹, Петрова А.А.²

¹ Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, ул. Красносельская, 17.

Saccharina bongardiana – один из самых массовых видов ламинариевых водорослей камчатского шельфа, характеризующийся широкой экологической пластичностью и морфологической изменчивостью. В работе описаны отличия его морфогенеза и биологии развития от таковых у других камчатских представителей рода *Saccharina* и близкого к нему рода *Laminaria*, рассмотрены особенности внутреннего строения, позволяющие данному виду осваивать литоральную зону шельфа, противостоять воздействию неблагоприятных факторов. Описан разработанный авторами метод контроля процесса деструкции тканей, происходящий под воздействием термощелочной обработки в процессе получения биогеля из этого вида водорослей.

Ключевые слова: *Saccharina bongardiana*, биология развития, морфогенез, водорослевый биогель, термощелочная обработка, деструкция ткани.

TISSUE DESTRUCTION IN THE BROWN ALGA, *SACCHARINA BONGARDIANA*, DURING THE PROCESS OF THERMAL-ALKALIN TREATMENT WHEN PRODUCING BIOGEL

Ivanov A.A.¹, Petrova A.A.²

¹ Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya 35.

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Krasnoselskaya, 17.

Saccharina bongardiana is one of the most widespread kelp species in Kamchatka, which is characterized by a broad ecological plasticity and morphological variability. We describe differences in its morphogenesis and developmental biology from the other *Saccharina* and *Laminaria* species from Kamchatka, and features of its internal structure that allow this species to develop in the tidal zone and withstand the effects of adverse environmental factors. The method developed by the authors to control the process of *S. bongardiana* tissue destruction occurring in the process of thermo-alkaline treatment when producing biogel from this alga is described.

Key words: *Saccharina bongardiana*, developmental biology, morphogenesis, algal biogel, thermo-alkaline treatment, tissue destruction.

Текст статьи

Основной размер шрифта текста статьи – 11,5, междустрочный интервал – 1,2.

Структурные элементы статьи (**введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, литература**) должны быть приведены полужирными буквами, с выравниванием по центру.

Ссылки на литературу в тексте должны быть приведены в квадратных скобках с указанием фамилии автора (-ов) и через запятую года выпуска научного издания (в порядке возрастания года издания; например, [Иванов, 1974; Петров, 1995; Абрамов, 2010]).

Ссылки на рисунки и таблицы должны быть приведены в тексте, при этом сами рисунки и таблицы приведены в конце статьи (после литературы и информации об авторах) с обязательным переводом названий таблиц и подрисуночных подписей на английский язык.

Все рисунки, кроме единственного, нумеруются. Рисунки должны быть четкими, обозначения и надписи читаемыми. Номер рисунка и подпись к нему печатаются 10,5 шрифтом, междустрочный интервал 1 (выносятся отдельно от рисунка для возможности редактирования). **Дополнительно к комплекту документов должны быть приложены файлы рисунков в формате jpg с разрешением не менее 300 dpi.**

Все таблицы, кроме единственной, нумеруются. Номер таблицы и подпись к нему печатаются 10,5 шрифтом, междустрочный интервал 1.

Математические, физические и химические формулы следует набирать в редакторе Microsoft Equation Editor. Все формулы, на которые есть ссылки в тексте, нумеруются, и ссылки на них приводятся в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается по правому краю.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно, что бурые, главным образом, ламинариевые водоросли являются источником получения веществ..... [Ковалева, 2000; Липатов, 2004; Разумов и др., 2004; Талабаева, 2006; Конева, 2009; Вафина, 2010].

.....

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

.....

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внутреннее строение *S. bongardiana* подвержено (рис. 1).

.....

Описанная выше последовательность мацерации тканей *S. bongardiana* показана на рисунке 2.

Представленная таблица показывает стадии процесса деструкции

.....

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что

Образец оформления формул

Полученные из опыта значения коэффициентов передач по каждому из каналов $K1(y_j)$ и $K2(y_j)$ соответственно удовлетворяют неравенствам:

$$\begin{aligned} -1 \leq K1(y_j) \leq 1, \\ -1 \leq K2(y_j) \leq 1. \end{aligned} \quad (1)$$

Учитывая более жесткие ограничения (1), получим систему неравенств:

$$\begin{aligned} K1(y_{j \min}) \leq K1(y_j) \leq K1(y_{j \max}), \\ K1(y_{j \min}) \leq K1(y_j) \leq K1(y_{j \max}). \end{aligned} \quad (2)$$

При построении семейства характеристик $K1_j = f(K2_j)$ учет неравенств (9) приведет к ограничению изоварных кривых с обеих сторон и выделению отрезков кривых, пересекающихся в исходной рабочей точке, соответствующей номинальным значениям $y_j^H(x)$.

Оформление литературы

Список литературы приводится последовательно на русском и английском языках. **Оформление строго в соответствии с образцом оформления литературы, представленным ниже.**

Образец оформления литературы

ЛИТЕРАТУРА

- Алфимов Н.Н., Петров Ю.Е. 1972. О биологических и биохимических особенностях некоторых ламинариевых и фукусовых водорослей (Phaeophyta) острова Беринга (Командорские острова). *Ботанический журнал*. Т. 57. № 6. С. 697–700.
- Аминина Н.М., Ключкова Н.Г. 2002. Перспективы развития производства по переработке водорослей на побережье Камчатки. *Рыболовство России*. № 1. С. 54–56.
- Богданов В.Д., Сафронова Т.М. 1993. Структурообразователи и рыбные композиции. М.: ВНИРО. 172 с.
- Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. *Диссертация ... канд. техн. наук*. Москва. 280 с.
- Вишневская Т.Н., Саяпина Т.А., Аминина Н.М. 1999. Химический состав и перспективы использования экстрактов из бурых водорослей. *Тезисы докладов Российской научной конференции «Новые биомедицинские технологии с использованием биологически активных добавок»*. Владивосток. С. 10–12.
- Вялков А.Н., Козлов В.К., Бобровницкий А.И., Михайлов В.И., Подкорытова А.В., Одинец А.Г., Супрун С.В., Тулупов А.М. 2008. Морские водоросли в восстановительной медицине, комплексной терапии заболеваний с нарушением метаболизма. М.: МДВ. 156 с.
- Зацепина А.Н., Бессонова А.Д. 2016. Обоснование технологии получения продуктов из бурых водорослей. *Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование»*. С. 115–119.
- Иванюшина Е.А., Жигадлова Г.Г. 1994. Биология ламинарии *Laminaria bongardiana* на литорали острова Беринга (Командорские острова). *Биология моря*. Т. 20. № 5. С. 374–380.
- Огородников В.С. 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Петропавловск-Камчатский. 25 с.
- Патент № 2041656 РФ. Способ получения пищевого полуфабриката из ламинариевых водорослей. *Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии* (Подкорытова А.В., Ковалева Е.А., Аминина Н.М.).
- Пьянкова А.С. 2012. Получение и использование полисахаридов бурых водорослей. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 20. С. 62–66.

REFERENCES

- Alfimov N.N., Petrov Yu.E. 1972. On the biological and biochemical characteristics of some kelp and fuclean algae (Phaeophyta) of Bering Island (Commander Islands). *Botanicheskiiy zhurnal (Botanical journal)*. Vol. 57. № 6. P. 697–700.
- Aminina N.M., Klochkova N.G. 2002. Prospects for the development of algae processing on the coast of Kamchatka. *Rybolovstvo Rossii (Rissian fishery)*. № 1. P. 54–56.

- Bogdanov V.D., Safronova T.M. 1993. Structuring agents and fish compositions. Moscow: VNIRO-press. 172 p.
- Vafina L.H. 2010. Justification of the integrated technology for processing of the brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Moscow. 280 p.
- Vishnevskaya T.N., Sayapina T.A., Aminina N.M. 1999. Chemical composition and prospects of using extracts from the brown algae. *Proceedings of Russian scientific conference "New biomedical technologies using biologically active additives"*. Vladivostok. P. 10–12.
- Vyalkov A.N., Kozlov V.K., Bobrovnikskiy A.I., Mihaylov V.I., Podkoryitova A.B., Odinets A.G., Suprun C.B., Tulupov A.M. 2008. Seaweed in rehabilitation medicine, complex therapy of metabolic diseases. Moscow: MDV. 156 p.
- Zatsepina A. N., Bessonova A.D. 2016. Justification of technology for obtaining products from brown algae. *Proceedings of National (All-Russian) scientific and practical conference "Natural resources, their present condition, protection, industrial and technical use"*. P. 115–119.
- Ivanyushina E.A., Zhigadlova G.G. 1994. Biology of the kelp species *Laminaria bongardiana* from the tidal zone of Bering Island (Commander Islands). *Biologiya morya (Marine biology)*. Vol. 20. № 5. P. 374–380.
- Ogorodnikov B.C. 2007. Algae-macrophytes from the Northern Kuril Islands. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 25 p.
- Patent № 2041656 RF. Method of obtaining a food semi-finished product from the laminariacean algae. *Pacific Fisheries and Oceanography Research Institute* (Podkoryitova A.V., Kovaleva E.A., Aminina N.M.).
- Pyancova A.S. 2012. Production and utilization of brown algae polysaccharides. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 20. P. 62–66.

Информация об авторах

Информация обо всех авторах статьи размещается в конце статьи (после литературы) и приводится последовательно на русском и английском языках по схеме: фамилия, имя, отчество автора; название организации, индекс, страна, город; степень, звание, должность; электронный адрес (шрифт 10,5, междустрочный интервал – 1), идентификационные номера авторов в базах данных научного цитирования. *Дополнительно к комплекту документов должны быть приложены файлы-скриншоты с личного кабинета автора на сайте e-library с указанием SPIN-кода (для его подтверждения), а также при наличии файлы-скриншоты ID-автора с сайта международной базы научного цитирования Scopus.*

Образец оформления информации об авторах

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, проректор по научной работе и международной деятельности, профессор кафедры «Экология и природопользование»; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, AuthorID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Vice-rector for Scientific Work and International Communications, Professor of Ecology and nature management chair; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, AuthorID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

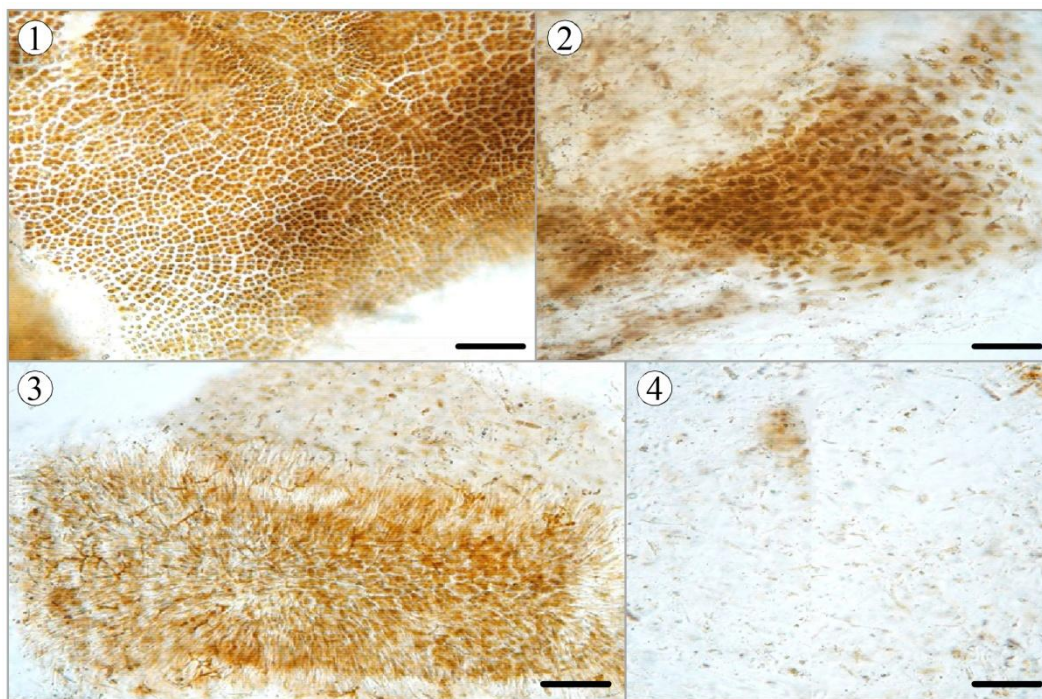


Рис. 1. Последовательность мацерации тканей *Saccharina bongardiana*: 1 – разделение дорсальной и вентральной половин слоевища и разрыхление корового слоя; 2 – разрыхление и дезинтеграция клеток меристодермы и медуллярной ткани; 3 – фрагмент соруса спорангиев с дезинтегрированными зооспорангиями и парафизами; 4 – мазок водорослевого биогеля в конце варки. Видны разрушенные нити сердцевины, отдельные парафизы и зооспорангии, небольшие скопления клеток меристодермы. Масштаб: 100 мкм (1, 3, 4), 50 мкм (2)

Fig. 1. The sequence of *Saccharina bongardiana* tissue maceration process: 1 – separation of the dorsal and ventral halves of the thallus and loosening of the cortical layer; 2 – loosening and disintegration of the meristoderm cells and medullar tissue; 3 – fragment of sporangial sori with disintegrated zoosporangia and paraphyses; 4 – smear of the algal biogel at the end of preparation. Broken filaments of the medullar tissue, individual paraphyses and zoosporangia, small clusters of meristoderm cells are visible. Scale: 100 μm (1, 3, 4), 50 μm (2)

Таблица. Мацерация дробленой *Saccharina bongardiana* в процессе ее термощелочной обработки

Table. Maceration of shredded *Saccharina bongardiana* thalli during thermo-alkaline treatment

Этап варки	Время варки (минут)	Средние размеры частиц (мм)	Характеристика изменений
1	10	4,01	Частицы плотные, целостные, без разделения на дорсальную и вентральную части
2	20	3,82	Частицы с начавшимся разделением на дорсальную и вентральную части. Наблюдается дробление крупных частиц
3	25	3,05	Продолжающийся процесс разрушения крупных частиц и расслоения пластины
4	30	2,6	Полное расслоение пластины, дезинтеграция клеток подкормки и сердцевины, дробление пластинок из коровой ткани и меристодермы
5	40	1,98	Продолжающаяся фрагментация частиц водорослей, разрыхление частиц, увеличение вязкости биогеля
6	50	0,83	Сильное набухание оставшихся частиц водорослей, почти полное разрушение оболочек клеток подкормки и меристодермы, увеличение вязкости биогеля

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Управление Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций по Камчатскому краю
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ТУ41-00292 от 06 декабря 2016 года

Главный редактор Т.А. Ключкова

Редактор О.В. Ольхина
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Адрес редакции, издателя, типографии:

683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35
Тел. (4152) 300-953. Факс (4152) 42-05-01
E-mail: kamchatgtu@kamchatgtu.ru
www.kamchatgtu.ru

Дата выхода в свет 28.09.2020 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 9,09. Уч.-изд. л. 9,68. Усл. печ. л. 11,63
Тираж 500 экз. Заказ № 9

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» 81288

Цена свободная

Отпечатано участком оперативной полиграфии издательства
ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»

ISSN 2079-0333



9 772079 033418 >