



ISSN 2414-4738

Научный журнал

Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

ЭКОСИСТЕМЫ



Флора и фауна
Биоценология
Биология и экология
видов
Охрана природы

34

2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. И. ВЕРНАДСКОГО

ЭКОСИСТЕМЫ

2023

ВЫПУСК 34

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. I. VERNADSKY CRIMEAN FEDERAL UNIVERSITY

EKOSISTEMY

2023

ISSUE 34

SCIENTIFIC JOURNAL • FOUNDED IN 1979 • PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR • SIMFEROPOL

ISSN 2414-4738

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61820 от 18 мая 2015 г. Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, протокол №

Журнал включен в перечень ВАК по специальностям и соответствующим им отраслям науки: 1.5.9. Ботаника; 1.5.15. Экология.

Адрес редакции: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, кафедра ботаники и физиологии растений и биотехнологии, пр. Академика Вернадского, 4, Симферополь, 295007
E-mail: ekotnu@list.ru

Полнотекстовые версии статей последних выпусков журнала в формате PDF и правила для авторов размещены на официальном сайте журнала по адресу: <http://ekosystems.cfuv.ru/>

Оригинал-макет: Г. А. Прокопов

На обложке: Кавказский пресноводный краб (*Potamon ibericum* (Bieberstein, 1808)) (Крым, Улу-Узень Восточный). Фото Г. А. Прокопова

Подписано в печать _____. Формат 60×84/8. Усл. п. л. 18,36. Печать цифровая. Тираж 50 экз. Бесплатно

Заказ № _____. Дата выхода в свет _____

Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»
295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

Главный редактор

Иванов С. П., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Заместитель главного редактора

Котов С. Ф., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Технический редактор

Леонов С. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Редактор текстов на английском и немецком языках

Шестакова Е. С., к. п. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ответственный секретарь

Омельченко А. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Контент-менеджер сайта

Николенко В. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Члены редакционной коллегии

Багрикова Н. А., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Белик В. П., д. б. н., профессор, Южный федеральный университет

Бескаравайный М. М., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Бугара И. А., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Будашкин Ю. И., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Воронин Л. В., д. б. н., доцент, Ярославский государственный педагогический университет имени К. Д. Ушинского

Гапонов С. П., д. б. н., профессор, Воронежский государственный университет

Довгаль И. В., д. б. н., профессор, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егоров В. Н., д. б. н., профессор, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егорова Н. А., д. б. н., Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма

Ена А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ермаков Н. Б., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Захаренко Г. С., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ивашов А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Коба В. П., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Корженевский В. В., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Мацюра А. В., д. б. н., профессор, Алтайский государственный университет

Митрофанова И. В., чл.-корр. РАН, д. б. н., Главный ботанический сад им. Н.И. Цицина РАН

Назаров В. В., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Оберемок В. В., д. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Петришина Н. Н., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Пешич В., доктор наук, профессор, Университет Черногории (University of Montenegro), Черногория

Плугатарь Ю. В., д. с.-х. н., чл.-корр. РАН, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Репецкая А. И., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Рябушко В. И., д. б. н., гл. науч. сотр., Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Русина Л. Ю., д. б. н., Московский государственный зоологический парк

Савельев А. П., д. б. н., Всероссийский НИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова

Сволынский А. Д., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Фатерыга А. В., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Чатгерджи Т., доктор наук (зоологии), Международная школа Хесент (Crescent), Индия

Чуян Е. Н., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

УДК 504.064.38

Применение системы удаленного мониторинга динамики атмосферных параметров в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета

Бадьин А. В., Сусяев В. И., Саркисян А. С., Казанин В. А., Ланин Е. В., Южаков М. С.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томск, Россия
Kazanin_2013@mail.ru*

В работе представлены результаты применения системы удаленного мониторинга климатических параметров в оранжереях Сибирского ботанического сада Томского государственного университета. Описан метод автономной локальной регистрации и энергоэффективной передачи данных о состоянии параметров воздуха в помещениях с различными климатическими условиями. Приведены рекомендованные температурные характеристики для годовых сезонов отделов суккулентов и холодных субтропиков, основанные на многолетнем опыте сотрудников Сибирского ботанического сада. Приведен сравнительный анализ полученных климатических данных за год с оптимальными значениями температуры и влажности воздуха в отделах ботанического сада. В результате обработки большого объема данных (182 000 записей) были построены графики динамики изменения температуры и влажности воздуха в суккулентном и холодном субтропическом отделах оранжереи, а также показаны климатических параметров на улице за пределами помещений ботанического сада с сентября 2021 по сентябрь 2022. Описаны факторы, влияющие на отклонение климатических параметров (влажности и температуры воздуха) в отделах оранжереи, и предложен способ стабилизации параметров путем внедрения разработанной системы мониторинга в обратную связь комплекса климатического контроля.

Ключевые слова: удаленный мониторинг, атмосферные параметры, холодные субтропики, суккуленты, ботанический сад.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Сибирского ботанического сада Национального исследовательского Томского государственного университета (СибБС ТГУ) обитает около 9500 растений различных видов, форм и сортов, из которых около 4500 принадлежат тропическим и субтропическим видам, для которых необходим постоянный диапазон температур и влажности воздуха (Ямбуров, 2020). Местоположение ботанического сада налагает ряд трудностей на поддержание стабильных атмосферных параметров в оранжерее из-за особенностей климатических зон, а именно, суровые сибирские зимы и стабильно жаркие лета с малыми количествами осадков (Климат Томска, 1982; Амельченко, Малахова, 1994; Морякина, и др., 2008; Барашкова и др., 2013). Например, у растений с САМ-фотосинтезом (метаболизмом углерода по типу толстянковых) фиксация и усвоение углекислого газа происходит ночью (Мамушина, Зубкова, 2005), когда растение может позволить себе открыть устьица без потери воды, но этот процесс зависит от температуры (Lüttge, 2004). Оптимальная температура для растений с САМ-фотосинтезом находится в диапазоне от 5 до 15 °С. Температура ниже 5 °С, как и выше 25 °С, негативно влияет на процессы метаболизма у данных растений, представителями которых являются и суккуленты. Также слишком высокая температура при низком уровне инсоляции зимой в период покоя растений может активировать процессы роста, что приводит к вытягиванию побегов, ослаблению растений и потере своей естественной формы. В холодном субтропическом отделе также важно соблюдение температурных режимов. В частности, зимой диапазон требуемой температуры находится недалеко от критических значений: допустимая температура колеблется в диапазоне от +6 до +10 градусов, но при повышении температуры выше 10 °С может начаться преждевременное разverzание вегетативных и генеративных почек, что недопустимо в

зимний период, а снижение температуры до нуля и ниже вызывает образование льда и разрушения в тканях у неморозостойких растений. Помимо температуры воздуха, важна температура почвы. Суккуленты чувствительны к низкой температуре почвы после полива: могут начинаться гнилостные процессы в корневой системе. Также важными являются показатели влажности воздуха: часть растений пересыхают при ее низких значениях (как, например, растения отдела холодных субтропиков, которые в природе произрастают в условиях высокой влажности), а при высоких значениях могут развиваться обусловленные патогенами заболевания – бактериозы и микозы.

Таким образом, регулярная фиксация температуры является неотъемлемой частью климатического контроля оранжерейных условий. В течение суток сотрудники фиксируют несколько раз за день температуру воздуха, производя записи в журналах, однако такой способ измерений не особо эффективный из-за низкой частоты регистрации данных и не позволяющий своевременно реагировать на изменение атмосферных параметров, а также процесс переноса информации с бумажного варианта на компьютер занимает несколько дней. В связи с этими недостатками было решено использовать устройства сбора климатических данных (УСКД-Агро), размещенных в оранжерее ботанического сада и позволяющих не только увеличить частоту замеров, но и исключить антропогенный фактор. Помимо прочего, оцифрованные данные хранятся на веб-сайте, которые можно скачать и удобно использовать при анализе сезонного ритма развития растений, поскольку легко рассчитать при какой сумме эффективных температур выше +5 °С или +15 °С у растений начинаются разные фенологические фазы.

Цель работы – мониторинг состояния атмосферных параметров в отделах СибБС ТГУ и за его пределами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для непрерывного мониторинга атмосферных параметров на территории СибБС ТГУ был разработан и собран автоматизированный комплекс регистрации климатических данных, состоящий из зондов, базовой станции (БС), Web-сервера с базой данных и двух веб-интерфейсов – сетевого и локального. Структура сети представлена на рисунке 1.

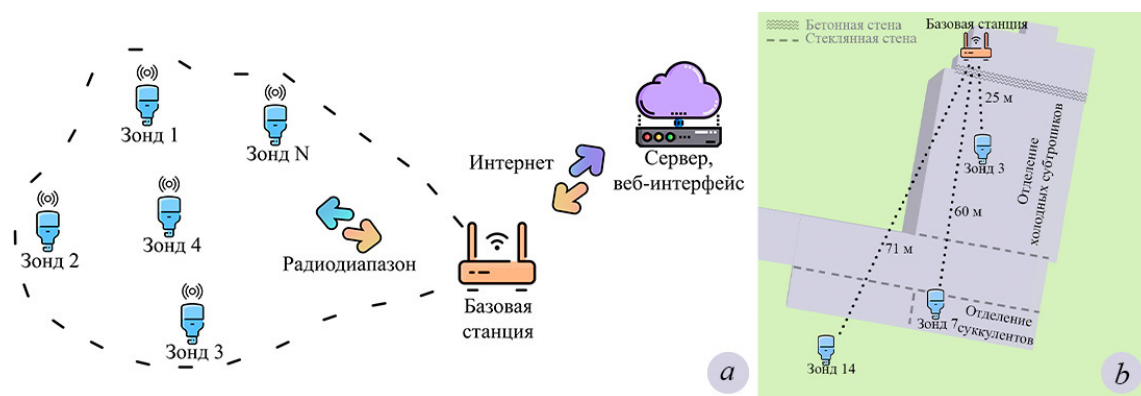


Рис. 1. Структура сети агрометеорологических зондов (а) и их расположение в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета (б)

Способ получения информации об атмосферных характеристиках заключался в размещении измерительных зондов УСКД-Агро в разных климатических зонах на территории ботанического сада ТГУ и за его пределами. Данные измеряются в автономном режиме и передаются на базовую станцию при помощи протокола канального уровня LoRaWAN. Базовая станция слушает эфир в заданном диапазоне частот. Полученные пакеты данных переадресовываются на веб-сервер для удаленного мониторинга.

В зависимости от радиоусловий в каждом зонде выбирается оптимальный набор параметров связи. Применяемая технология LoRa позволяет принимать сигнал от зондов в любой точке ботанического сада и за его пределами до 3 км от базовой станции. Но в этом случае может происходить потеря пакетов информации. В случае ботанического сада уровень RSSI варьируется от -90 дБм до -120 дБм, что говорит о наличии преград и множестве других помех, но даже при таком качестве связи базовая станция принимает все пакеты данных от установленных зондов.

Зонд оснащен датчиками: атмосферного давления и температуры воздуха BMP280, относительной влажности HTU 21, а также температуры почвы DS18B20 на глубине 10 см. Датчик BMP280 обладает диапазоном измерений атмосферного давления от 300 ГПа до 1100 ГПа с погрешностью $\pm 0,12$ ГПа и температуры от -40 до $+85$ °C с точностью $\pm 0,01$ °C (Киба и др, 2019) Рабочий диапазон датчика влажности от 0 до 100 % обладая погрешностью в 3 % и температуры от -40 до $+125$ °C с точностью измерений $\pm 0,4$ °C (Зайцев, 2021). Датчик DS18B20 обладает диапазоном измерений от -40 до $+85$ °C с точностью $\pm 0,5$ °C (Сучкова и др, 2015; Южаков и др, 2019).

В составе устройства имеются часы реального времени для создания временных меток, карта памяти для резервирования данных, приемопередающий модуль с технологией модуляции LoRa. Также имеется система питания, включающая в себя: контроллер заряда, солнечную панель, два литий-ионных аккумулятора, блок измерения тока солнечной панели и заряда аккумулятора батареи (АКБ).

Блок-схема зонда приведена на рисунке 2.

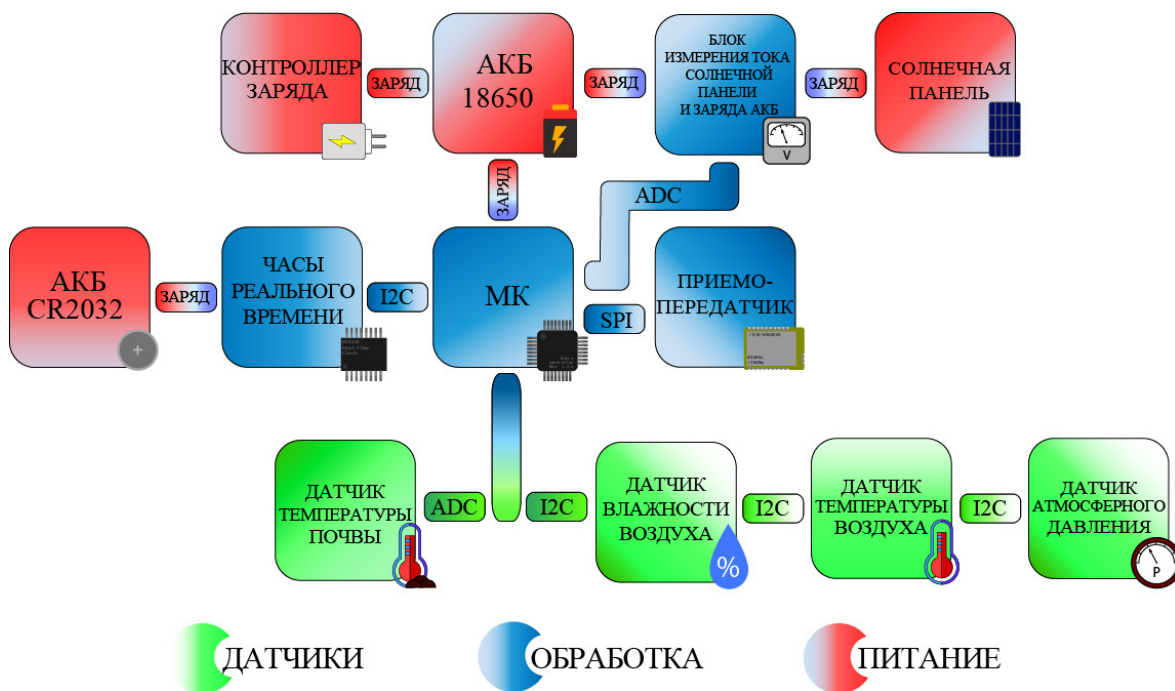


Рис. 2. Блок-схема зонда

Базовая станция сконструирована на основе микроконтроллера ESP-8266 с поддержкой WiFi-интерфейса, с помощью которого производится выход устройства в сеть Интернет. Базовая станция оснащена OLED дисплеем для отслеживания состояния подключенных агрозондов.

Базовая станция работает от источника постоянного питания, но при возникновении аварийной ситуации, в системе предусмотрено питание от двух АКБ с суммарной ёмкостью 6 Ач.

Блок-схема базовой станции приведена на рисунке 3.

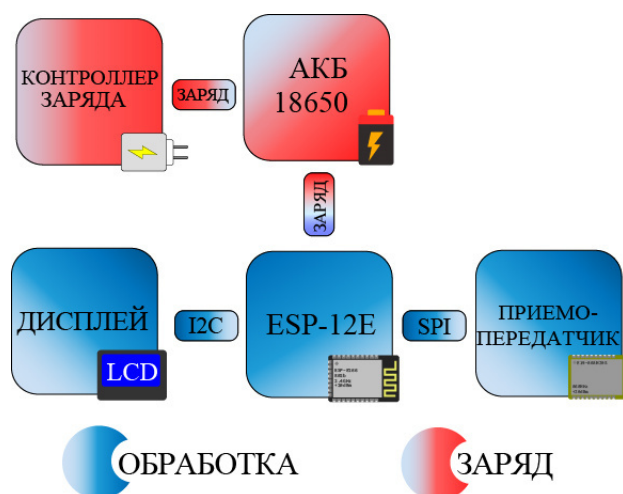


Рис. 3. Блок-схема базовой станции

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В оранжерее Сибирского ботанического сада температура в теплицах является важным показателем. Температурные режимы установлены сотрудниками с учетом климатических зон произрастания растений в естественных условиях с поправкой на сибирские погодные условия. В частности, для суккулентного и холодного субтропического отделов установлены следующие температурные режимы, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Необходимые температурные режимы в различные сезоны года для суккулентного и холодного субтропического отделов СибБС ТГУ

Отдел	Период							
	Зима Ноябрь – март		Весна Март – май		Лето Май – сентябрь		Осень Сентябрь – ноябрь	
	Часть суток, температура, °С							
	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь
Суккуленты	13–15	11–13	18–20	16–18	24–30	20–24	15–17	13–15
Холодные субтропики	8–10	6–8	13–15	11–13	20–25	18–20	12–15	10–12

Для годичного мониторинга параметров атмосферы (температуры, влажности) в оранжереях суккулентов и холодных субтропиков (рис. 4) в период с сентября 2021 по сентябрь 2022 были установлены агрометеорологические зонды на высоте 70 сантиметров от поверхности земли.

На рисунках 5–8 приведены результаты временной динамики изменения температуры и влажности воздуха в отделах холодных субтропиков и суккулентов с рекомендованными температурными режимами для каждого сезона. Красная линия соответствует верхнему пределу рекомендуемых значений, а синяя – нижнему.



Рис. 4. Расположение агрометеорологических зондов в отделах холодных субтропиков (a) и суккулентов (b) оранжереи Сибирского ботанического сада Томского государственного университета

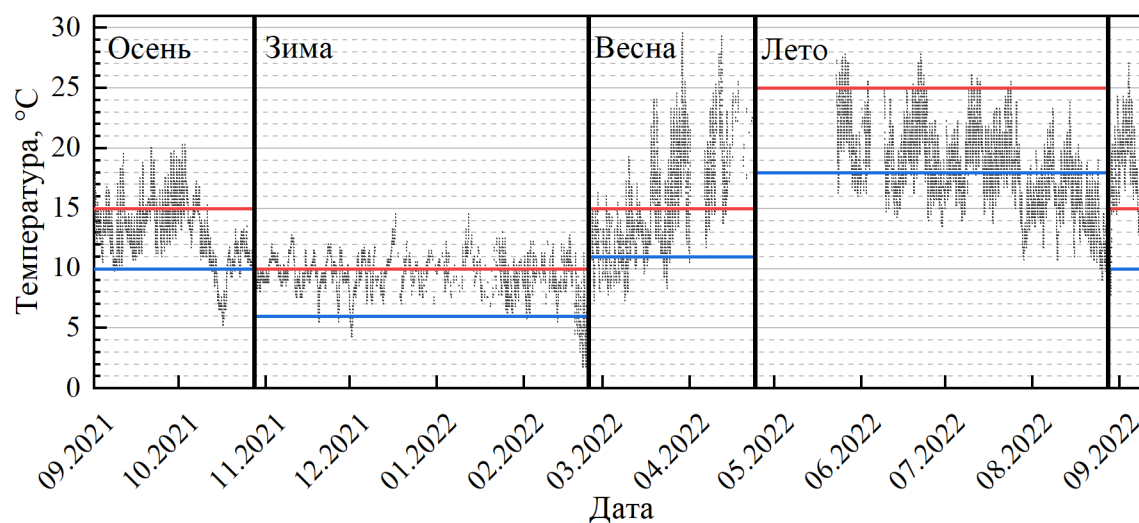


Рис. 5. Температура воздуха в отделе холодных субтропиков Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021 – сентябрь 2022)

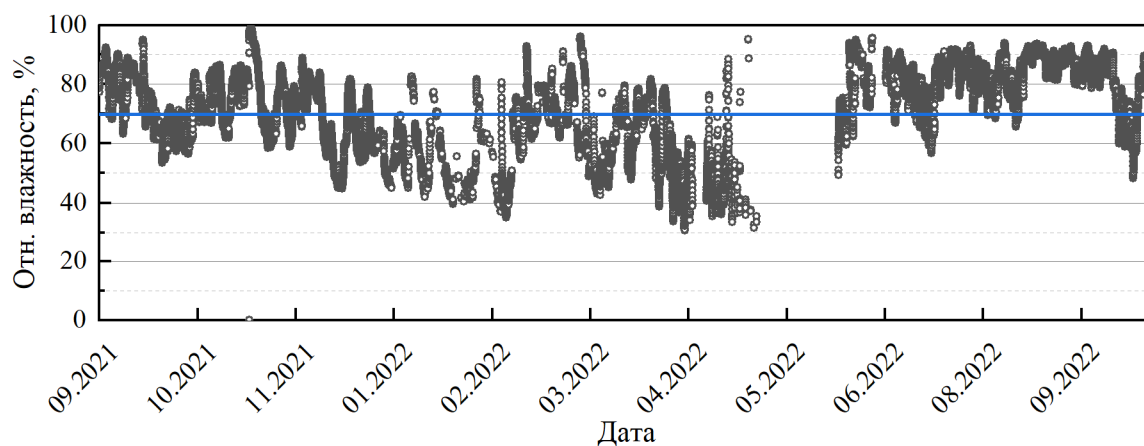


Рис. 6. Влажность воздуха в отделе холодных субтропиков Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021 – сентябрь 2022)

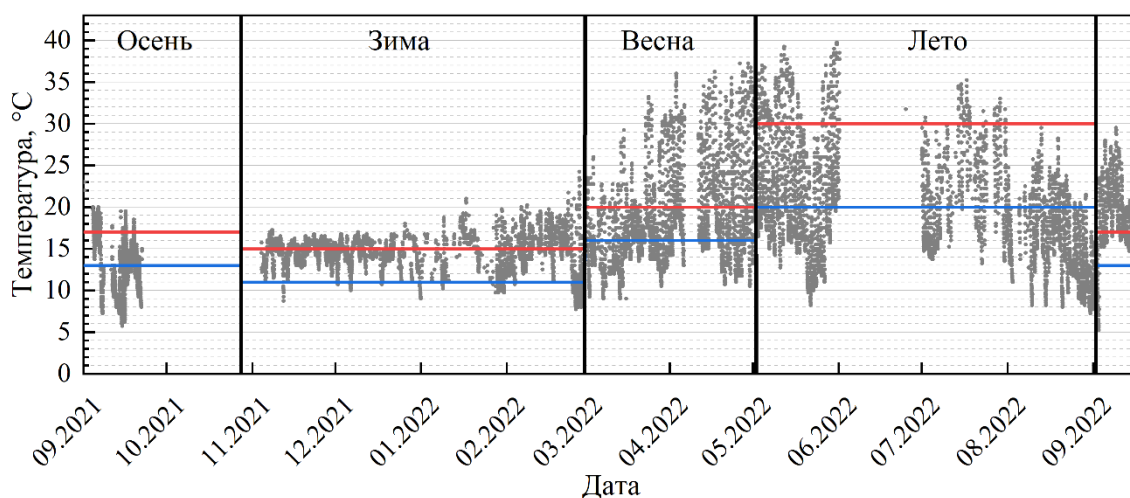


Рис. 7. Температура воздуха в отделе суккулентов Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021 – сентябрь 2022)

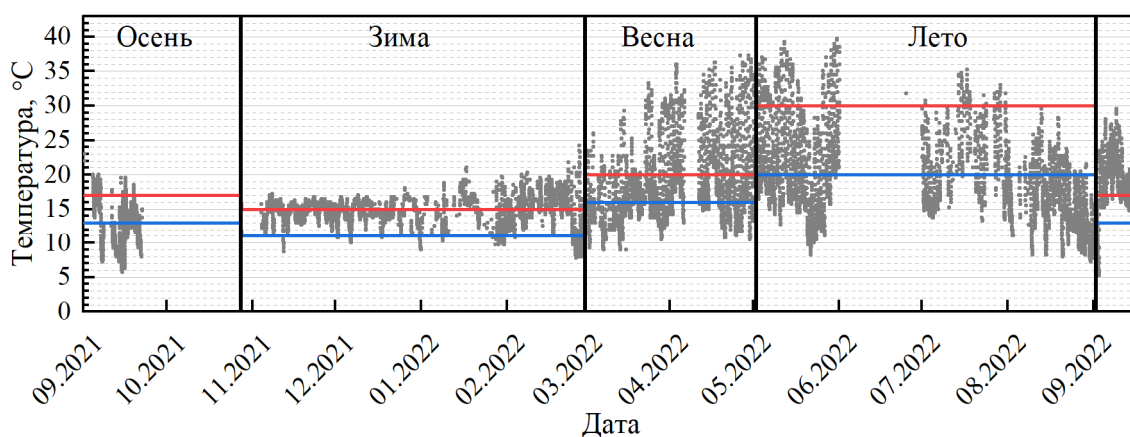


Рис. 8. Влажность воздуха в отделе суккулентов Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021 – сентябрь 2022)

Для сравнения атмосферных параметров в оранжереях, относительно характеристик окружающей среды, был частично смонтирован в землю контрольно-измерительный зонд (рис. 9), располагающийся за пределами оранжерей ботанического сада на расстоянии 5 метров от главного корпуса.

На графиках (рис. 10–12) представлены результаты годичного мониторинга атмосферных параметров на улице около ботанического сада.

Анализ полученных графиков температурных зависимостей (рис. 4, 6 и 9) за зимний период показывает, что при значительных перепадах температур (от -29 до $+3$ °C) на улице в оранжереях СибБС ТГУ поддерживаются относительно стабильные значения температуры, имеющие отклонения за рекомендованные границы ± 3 °C (суккуленты) и $\pm 2,5$ °C (холодные субтропики) в дневное время, а в ночное время имеет место быть понижение температуры на 2 °C ниже нормы. Данные отклонения не являются пагубными для растений рассматриваемых отделов, так как температура за ночное время не опускалась ниже критического значения (0 °C) и в течение дня поднималась до рекомендованных и выше параметров. Возрастание температуры весной и в первой половине лета в суккулентном и холодном субтропическом

отделах связано с увеличением длительности светового дня и повышением уровня инсоляции. Также стоит отметить, что южное расположение суккулентного отдела заметно влияет на прогрев теплицы в течение дня.



Рис. 9. Внешний вид агрометеорологического зонда, расположенного на улице у Сибирского ботанического сада Томского государственного университета

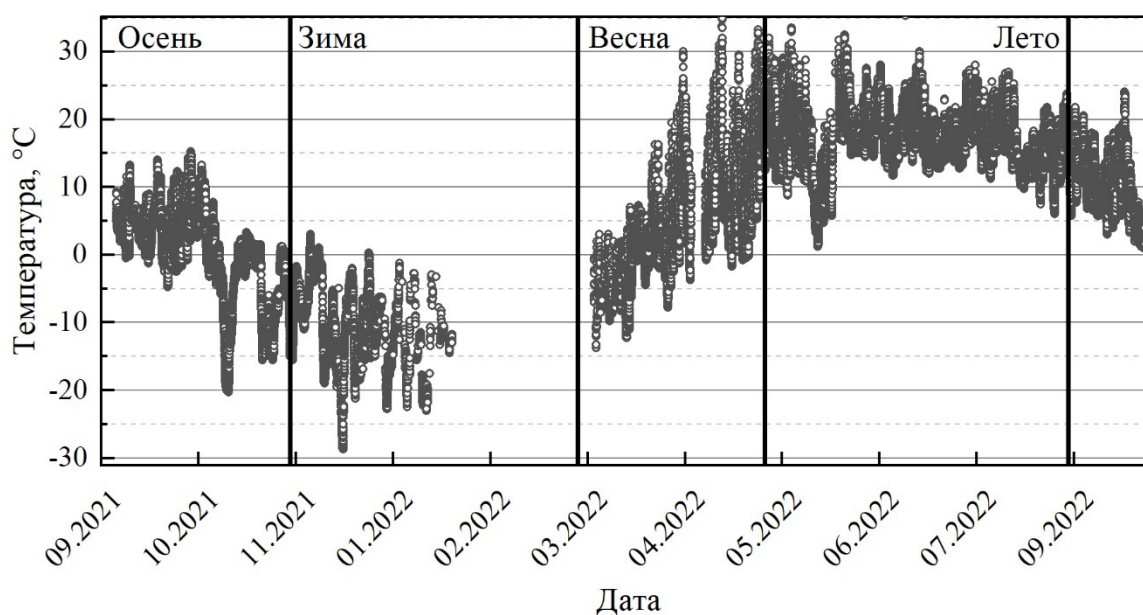


Рис. 10. Температура воздуха на улице около Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021 – сентябрь 2022)

В холодном субтропическом отделе верхние значения температур также заметно возрастают, но с меньшей крутизной, чем в суккулентном отделе, так как этот отдел по своей площади значительно больше суккулентного, и с южной стороны расположен смежный отдел оранжереи, поэтому холодный субтропический отдел не может так интенсивно прогреваться. Позже, со второй половины лета и в начале осени, прослеживается динамика на уменьшение температуры воздуха в оранжереях до момента включения отопительной системы.

Высокая влажность воздуха осенью и во второй половине лета в суккулентном отделе связана с увеличением количества осадков и одновременным понижением температуры на

улице. Мероприятия по уменьшению содержания водяного пара в воздушной среде заключаются в сокращение полива растений.

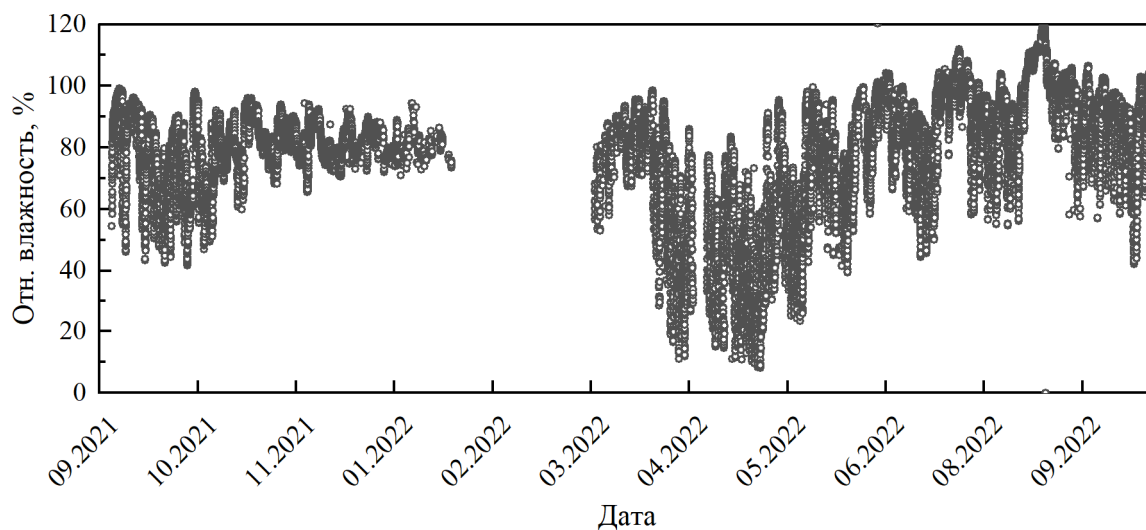


Рис. 11. Влажность воздуха на улице около Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021 – сентябрь 2022)

Для холодных субтропиков высокая влажность является важной составляющей нормальной жизнедеятельности растений, а низкая может повлечь за собой необратимые последствия для растений. Пониженное значение содержания водяного пара в воздухе наблюдается в зимне-весенний период, что свидетельствует о необходимости увеличения орошения растений. Низкие показания влажности для суккулентного отдела, наоборот, не являются пагубными, поэтому какие-либо меры предпринимать не требуется, а период низкой влажности в холодном субтропическом отделе является заметно продолжительным, что говорит о необходимости внедрения системы автоматизированного орошения для регулирования влажности в допустимых пределах.

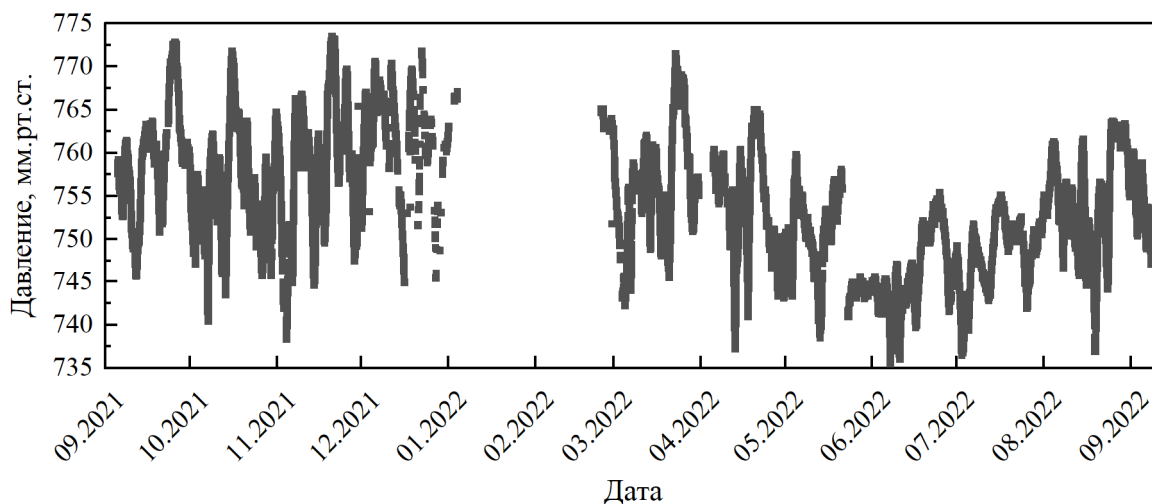


Рис. 12. Атмосферное давление на улице около Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (сентябрь 2021–сентябрь 2022)

Как видно из графиков (рис. 10–12), данные с агрометеорологического зонда около ботанического сада имеют временной разрыв в период с конца января по март 2022 года. Обусловлено это тем, что установленный зонд вне помещений СибБС конструктивно предназначался для применения в оранжереях ботанического сада (с расположением солнечной панели сверху). При выпадении снега на поверхность панели, автономность зонда пропадает, и как следствие, происходит плавный разряд аккумуляторной батареи за счет исчезновения возможности подзарядки. При окончательном сходе снега, энергоэффективность солнечных панелей восстанавливается и данные о состоянии климатических параметров снова стали регистрироваться. Для применения таких систем в суровых условиях сибирского климата целесообразно применять конструкцию корпуса зондов с боковым расположением солнечных элементов под углом 75–90 градусов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе показаны результаты годичного мониторинга климатических параметров в оранжереях СибБС ТГУ и на территории, непосредственно прилегающей к нему. Полученную информацию можно использовать для принятия решений по корректировке системы отопления и превентивных мер. В будущем планируется организовать не только онлайн-доступ к данной информации, но и внедрить систему оповещения о выходе температуры за критические значения с целью предотвращения аварийных ситуаций (нарушение целостности остекления, сбой в системе водяного отопления). Данная система позволит оперативно решать проблемы и избегать гибели ценных растений СибБС ТГУ.

Благодарности. Авторы выражают признательность к.б.н. Ямбурову М. С. и Романовой С. Б. (Сибирский ботанический сад НИ ТГУ) за помощь в организации проведения измерений и оказание консультативной помощи.

Работа выполнена в рамках проектов «Центр студенческой проектной деятельности» и «Разработка информационной системы непрерывного мониторинга процессов депонирования и эмиссии углерода и оценки агропотенциала почв Сибири» в рамках программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

Список литературы

- Амельченко В. П., Малахова Л. А. Научно-методические вопросы охраны редких и исчезающих растений Томской области // Проблемы региональной экологии. – 1994. – Т. 2. – С. 105–107
- Барашкова Н. К., Кружевская И. В., Поляков Д. В. Экстремальный режим погоды летом 2012 г. на территории Томской области как отражение современных глобальных климатических тенденций // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 173–179.
- Зайцев А. В. Оцифровка аналоговых сигналов // E-Management. – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 13–19.
- Киба Д. А., Любушкина Н. Н., Гудим А. С., Биткина А. А. Регистратор условий хранения и транспортировки специализированных грузов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 62, № 7. – С. 668–674.
- Климат Томска / [Ред. С.Д. Кошинский и др.]. – Л.: Гидрометиздат, 1982. – 176 с.
- Мамушина Н. С., Зубкова Е. К. САМ-фотосинтез: распространение и эколого-физиологические аспекты // Ботанический журнал. – 2005. – Т. 90, № 11. – С. 1641–1650.
- Морякина В. А., Свиридова Т. П., Беляева Т. Н. и др. Сохранение биоразнообразия растений мировой флоры в Сибирском ботаническом саду Томского госуниверситета // Информационный вестник ВОГиС. – 2008. – Т. 12, № 4. – С. 555–563.
- Сучкова Л. И., Хуссейн Х. Ш. А. х. М., Якунин М. А., Якунин А. Г. Исследование долговременной стабильности параметров термодатчиков DS18B20 // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 1 (35). – С. 42–46.
- Южаков М. С., Бадьин А. В., Пидотова Д. А. Разработка устройства сбора и передачи данных «УСКД-365П» // Актуальные проблемы радиофизики (АПР 2019): VIII Международная научно-практическая конференция. – 2019. – С. 173–177.

Ямбуров М. С. 140 лет Сибирскому ботаническому саду Томского государственного университета // Ботанические сады как центры изучения и сохранения фиторазнообразия // Труды Международной научной конференции, посвященной 140-летию Сибирского ботанического сада Томского государственного университета. – 2020. – С. 5–7.

Lüttge, U. Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM) // Annals of Botany. – 2004. – Vol. 93, N 6. – 629 pp.

Badin A. V., Suslyayev V. I., Sarkisyan A. S., Kazanin V. A., Lanin E. V., Yuzhakov M. S. Application of the system of remote monitoring of atmospheric parameters dynamics in the Siberian Botanical Garden of Tomsk State University // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 5–14.

The paper presents the results of the application of the remote monitoring system of climatic parameters in the greenhouses of the Siberian Botanical Garden of Tomsk State University. The method of autonomous local registration and energy-efficient transmission of data on the state of air parameters in rooms with different climatic conditions is described. The recommended temperature characteristics for the annual seasons of succulents and cold subtropics departments are given, based on the long-term experience of employees of the Siberian Botanical Garden. A comparative analysis of the obtained climatic data for the year with optimal values of temperature and humidity in the departments of the botanical garden is given. As a result of processing a large amount of data (182,000 records) graphs of the dynamics of changes in temperature and humidity in the succulent and cold subtropical sections of the greenhouse were plotted, as well as indications of climatic parameters outside the premises of the botanical garden from September 2021 to September 2022. The factors influencing the deviation of climatic parameters (humidity and air temperature) in the greenhouse departments are described, and a method for stabilizing the parameters by introducing the developed monitoring system into the feedback of the climate control complex is proposed.

Key words: remote monitoring, atmospheric parameters, cold subtropics, succulents, botanical garden.

Поступила в редакцию 25.11.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 581.5(470.319)

Вопросы совершенствования современного ассортимента древесных насаждений города Орла

Богайскова А. В., Силаева Ж. Г.

*Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина
Орёл, Россия
bogaiskova.alisa@yandex.ru; silaevazhanna@rambler.ru*

Зеленые насаждения города Орла занимают площадь в 196 га, в городе насчитывается более полусотни озелененных объектов для рекреации населения. Древесные растения являются одним из важнейших и эффективных видов оздоровления города, благоприятно влияют на состав и чистоту воздуха, на самочувствие человека и его психофизическое состояние. Согласно проведенным исследованиям, в городских насаждениях города Орла известно 126 видов, форм и сортов древесных растений. В городе зарегистрированы 95 видов древесных растений, относящихся к интродуцентам, и 31 вид, относящийся к дикорастущим. Родиной подавляющего большинства видов современных древесных растений города Орла является Россия. Интродуцированные виды древесных растений были завезены преимущественно из Северной Америки и только малая часть с Дальнего Востока. Экологическая специфика объектов озеленения в городе Орле, как и во многих других городах, предполагает разделение древесных растений в зависимости от микроклимата, техногенной загрязненности, эдафических условий, рекреационной нагрузки. Выбросы промышленных предприятий вредят растениям, преимущественно расположенным на окраинах города, между тем автомобильный транспорт заметно сказывается на состоянии древесных растений во всех районах города. Большинство насаждений требуют реконструкции, включающей удаление больных, потерявших декоративность, обмерзающих и представляющих угрозу деревьям и высадку взамен крупномерных растений. Видовое разнообразие древесных насаждений города Орла нуждается в расширении. Ассортимент древесно-кустарниковых растений следует подбирать главным образом в соответствии с устойчивостью и долговечностью к конкретным условиям среды. Необходимо увеличивать долю тех видов древесных растений, которые имеют высокий средообразующий потенциал в городских зеленых насаждениях.

Ключевые слова: древесные насаждения, ландшафтная архитектура, устойчивый ассортимент, экологическая специфика, видовое разнообразие, средообразующий потенциал.

ВВЕДЕНИЕ

Декоративные древесные растения являются важнейшим аспектом озеленения объектов ландшафтной архитектуры различной конфигурации. Для повышения эстетической привлекательности объектов озеленения необходимо учитывать декоративные особенности растений, проводя объективную оценку всех составляющих.

Зеленые насаждения города Орла занимают площадь в 196 га, в городе насчитывается более полусотни озелененных объектов для рекреации населения. Древесные растения являются одним из важнейших и эффективных видов оздоровления города, благоприятно влияют на состав и чистоту воздуха, на самочувствие человека и его психофизическое состояние. Изучению особенностей растений и ассортимента зеленых насаждений города Орла посвящены отдельные работы Дубовицкой О. Ю. и Золотаревой Е. В. (2014), Киселевой Л. Л. и Парахиной Е. А. (2016).

Целью исследования является изучить ассортимент древесных растений города Орла и разработать рекомендации по улучшению и расширению ассортимента древесных растений, устойчивых к антропогенным нагрузкам на основе оценки качества городской среды. Впервые проведено комплексное исследование древесного ассортимента города Орла на объектах озеленения различных категорий. Даны рекомендации по подбору ассортимента древесных растений в соответствии с устойчивостью и долговечностью к конкретным условиям среды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлись древесные растения города Орла. Изучение видового разнообразия древесных растений проводилось в период с 2020 по 2022 годы. Были обследованы объекты озеленения различных категорий в четырех районах города: Заводском, Железнодорожном, Северном и Советском. При изучении и рассмотрении видового состава древесных насаждений города Орла использовался общепринятый маршрутный метод. Видовая принадлежность растений определялась на месте произрастания растений, при необходимости собирался гербарий. Названия древесных растений приводятся в соответствии с международным кодексом номенклатуры культурных растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Город Орел является областным центром с населением 298 172 человек и площадью 12 121 га. Площадь зеленых массивов и насаждений общего пользования составляет 196 га (Богайскова, Коренькова, 2019). Климат территории умеренно континентальный, среднегодовая температура – +6,7 °С, среднегодовое количество осадков – 605 мм, среднегодовой показатель солнечного сияния составляет 1 852 часа. Расположен в 368 км к юго-западу от Москвы, на Среднерусской возвышенности в европейской части России, по обоим берегам реки Оки и ее притока Орлика.

С экологической точки зрения город считается благоприятным для проживания, индекс загрязнения атмосферы находится в норме – 5,26 единиц. Наибольшее количество специфических загрязняющих веществ поступает в атмосферу от автотранспорта: оксид углерода – 94,4 %, диоксид азота – 86,5 %, диоксид серы – 79,0 %, углеводород – 97,3 % (Мониторинг окружающей..., 2022). По этой причине исследователи утверждают, что подбор ассортимента древесных растений для городского озеленения необходимо осуществлять с учетом устойчивости видов к техногенному загрязнению среды по результатам биомониторинга существующих зеленых насаждений.

Согласно проведенным исследованиям, в городских насаждениях города Орла известно 126 видов, форм и сортов древесных растений. В городе зарегистрированы 95 видов древесных растений, относящихся к интродуцентам, и 31 вид, относящийся к дикорастущим (Киселева, Парахина и др., 2016). Действующий ассортимент древесных растений характеризуется недостаточным видовым разнообразием, который нуждается в расширении.

Исследования показали, что по числу родов и видов лидирует семейство Rosaceae (41 таксон), далее следуют семейства Salicaceae (22 таксона), Pinaceae (7 таксонов), Oleaceae (6 таксонов). При этом большое количество дикорастущих видов относится к семействам Salicaceae (8 таксонов) и Rosaceae (8 таксонов), а также роды *Salix* (12 таксонов), *Populus* (10 таксонов) и *Spiraea* (8 таксонов) (Киселева, Парахина и др., 2016). Среди многочисленных видов *Salix* большинство произрастает на увлажненных территориях, в основном по берегам рек. Однако они в последние годы, как правило, не выращиваются в питомниках и редко используются как элементы ландшафтных композиций. *Aesculus hippocastanum* L. несмотря на широкое распространение в озеленении, является одним из самых не устойчивых видов.

Чаще всего в озеленении города Орла используются виды древесных растений: *Picea abies* (L.) H. Karst., *Juniperus sabina* L., *Thuja occidentalis* L., *Populus nigra* L., *Betula pendula* Roth., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Sorbus aucuparia* L., *Spiraea chamaedryfolia* L., *S. salicifolia* L., *Tilia cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop., *Fraxinus excelsior* L. (Киселева, Парахина и др., 2016).

Некоторые виды древесных растений очень редко используются в озеленении: *Viburnum lantana* L., *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl., *Robinia viscosa* Vent., *Spiraea hypericifolia* L., *Crataegus mollis* (Torr. et A. Gray) Scheele, *Morus alba* L., *Syringa josikaea* Jacq. f. ex Reichenb., *Acer tataricum* L. (Киселева, Парахина и др., 2016).

Согласно исследованиям, родиной подавляющего большинства видов современных древесных растений города Орла является Россия (Киселева, Парахина и др., 2016).

Большинство интродуцированных видов древесных растений были завезены из Северной Америки и только малая часть с Дальнего Востока.

Экологическая специфика объектов озеленения в городе Орле, как и во многих других городах, предполагает разделение древесных растений в зависимости от микроклимата, техногенной загрязненности, эдафических условий, рекреационной нагрузки. Для решения этой проблемы необходим системный подход, который поможет организовать комплекс эколого-дендрологических исследований и разработать соответствующие рекомендации.

Выбросы промышленных предприятий вредят растениям, преимущественно расположенным на окраинах города, между тем автомобильный транспорт заметно сказывается на состоянии древесных растений во всех районах города. В этой связи вдоль основных магистралей города Орла древесные растения испытывают сильное неблагоприятное влияние. Проведенные исследования, показали, что на древесные растения в придорожных насаждениях города Орла в первую очередь влияют компоненты, выбрасываемые в атмосферу при сжигании различных видов топлива и засоление почвы вследствие применения противогололедных реагентов.

На устойчивость городских древесных насаждений негативное влияние оказывает чрезмерное уплотнение почвы из-за высокой антропогенной нагрузки. Стволы деревьев очень часто вплотную обкладываются плиткой. Также негативно сказывается на состоянии древесных растений неправильно проведенная обрезка, вследствие которой, деревья утрачивают свою декоративную привлекательность, медленно растут и рано усыхают. Стоит отметить, что многократная обрезка кроны взрослых деревьев негативно сказывается на их состоянии, что приводит к преждевременному старению и гибели насаждений (рис. 1 а). Ярким примером здесь являются *Fraxinus excelsior* L., которые в течении нескольких лет не могут восстановиться после радикальной обрезки (рис. 1 обрезки (рис 1 б)).



Рис. 1. Состояние ясеней обыкновенных (*Fraxinus excelsior* L.) по улице Пушкина (город Орел, 30.04.2021) (а) и по улице Революции (город Орел, 10.05.2022) (б) (фото А. В. Богайсковой)

Учитывая вышеизложенное, стоит отметить, что разработка ассортимента древесных растений для озеленения города является сложным процессом и требует тщательных экспериментов и наблюдений. В первую очередь стоит учитывать устойчивость древесных растений к температурным колебаниям и промышленным загрязнителям. При проектировании ассортимента древесных растений на территории города Орла также необходимо учитывать способность растений сохранять санитарно-гигиенические и эстетические качества в условиях повышенной техногенной нагрузки.

Утомительное однообразие малоценных древесных пород с невысокими эстетическими свойствами необходимо заменять более декоративными видами. Часто при замене древесных растений забывают о научном подходе к проблеме, используется привозной посадочный материал, что зачастую приводит к пустой трате денежных ресурсов, ведь нерайонированные

растения массово погибают и их приходится заменять новыми. Для выращивания необходимого количества посадочного материала рекомендуется организация питомников непосредственно в Орловской области. Древесные растения, выращенные в местных условиях, будут иметь большую приживаемость и помогут сократить расходы на транспортировку.

Большинство насаждений требуют реконструкции, включающей удаление больных, потерявших декоративность, обмерзающих и представляющих угрозу деревьям и высадку взамен крупномерных растений. В то же время необходимо сохранение старых деревьев, ведь большинство из них выполняют санитарно-гигиенические функции, но, к сожалению, зачастую они недолговечны. Часть из них может даже представлять опасность при сильном ветре. Не рекомендуется к посадке *Acer negundo* и некоторые виды рода *Populus*, из-за образования большого объема семян, засоряющих городское пространство (Дубовицкая, Золотарева, 2014).

Видовое разнообразие древесных насаждений города Орла нуждается в расширении, для этого стоит использовать растения устойчивые к рекреационным и агрессивным условиям городской среды (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендуемый ассортимент древесных растений для города Орла

№ п/п	Название
1	2
Основной ассортимент	
1	Бархат амурский (<i>Phellodendron amurense</i>)
2	Бирючина обыкновенная (<i>Ligustrum vulgare</i>)
3	Боярышник сибирский (<i>Crataegus sanguinea</i>)
4	Гортензия древовидная (<i>Hydrangea arborescens</i>)
5	Девичий виноград пятилисточковый (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>)
6	Дуб красный (<i>Quercus rubra</i>)
7	Ель канадская (<i>Picea glauca</i>)
8	Ель колючая (<i>Picea pungens</i>)
9	Ирга круглолистная (<i>Amelanchier ovalis</i>)
10	Кизильник блестящий (<i>Cotoneaster acutifolius</i>)
11	Лапчатка кустарниковая (<i>Dasiphora fruticosa</i>)
12	Можжевельник казацкий (<i>Juniperus sabina</i>)
13	Роза морщинистая (<i>Rosa rugosa</i>)
14	Сирень венгерская (<i>Syringa josikaea</i>)
15	Снежноягодник белый (<i>Symphoricarpos albus</i>)
16	Спирея дубравколистная (<i>Spiraea chamaedryfolia</i>)
17	Чубушник венечный (<i>Philadelphus coronarius</i>)
Дополнительный ассортимент	
1	Айва японская (<i>Chaenomeles japonica</i>)
2	Барбарис Тунберга (<i>Berberis thunbergii</i>)
3	Бузина черная (<i>Sambucus nigra</i>)
4	Вишня степная (<i>Cerasus fruticosa</i>)
5	Дейция шершавая (<i>Deutzia scabra</i>)
6	Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>)
7	Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i>)
8	Карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i>)
9	Орех маньчжурский (<i>Juglans mandshurica</i>)

Таблица 1 (продолжение)

1	2
10	Сирень обыкновенная (<i>Syringa vulgaris</i>)
11	Спирея иволистная (<i>Spiraea salicifolia</i>)
12	Яблоня Недзвецкого (<i>Malus niedzwetzkyana</i>)
Ограниченный ассортимент	
1	Барбарис оттавский (<i>Berberis × ottawensis</i>)
2	Бересклет бородавчатый (<i>Euonymus verrucosus</i>)
3	Буддлея Давида (<i>Buddleja davidii</i>)
4	Вейгела цветущая (<i>Weigela florida</i>)
5	Дерен белый (<i>Swida alba</i>)
6	Жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i>)
7	Калина гордовина (<i>Viburnum lantana</i>)
8	Кизильник черноплодный (<i>Cotoneaster melanocarpa</i>)
9	Клен гиннала (<i>Acer ginnala</i>)
10	Клен татарский (<i>Acer tataricum</i>)
11	Лох серебристый (<i>Elaeagnus argentea</i>)
12	Луизеания трехлопастная (<i>Prunus triloba</i>)
13	Магнолия звездчатая (<i>Magnolia stellata</i>)
14	Магония падуболистная (<i>Mahonia aquifolium</i>)
15	Пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i>)
16	Рябинник рябинолистный (<i>Sorbaria sorbifolia</i>)
17	Скумпия обыкновенная (<i>Cotinus coggigria</i>)
18	Форзиция европейская (<i>Forsythia europaea</i>)
19	Черемуха Маака (<i>Padus maackii</i>)

Введение в существующий ассортимент новых видов древесных растений поможет значительно улучшить микроклиматические условия города Орла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологическая специфика объектов озеленения предполагает разделение древесных растений в зависимости от микроклимата, техногенной загрязненности, эдафических условий, рекреационной нагрузки. В городе Орле выявлен целый комплекс факторов, неблагоприятно сказывающихся на состоянии древесно-кустарниковых растений и вызывающих их деградацию. При этом, выбросы промышленных предприятий вредят растениям, преимущественно расположенным на окраинах города, а автомобильный транспорт заметно сказывается на состоянии древесных растений во всех районах города.

Таким образом, большинство насаждений требуют реконструкции, включающей удаление больных, потерявших декоративность, обмерзающих и представляющих угрозу деревьям и высадку взамен крупномерных растений. Видовое разнообразие древесных насаждений города Орла нуждается в расширении. Ассортимент древесно-кустарниковых растений следует подбирать не только по региональному фактору и природным условиям, но и главным образом в соответствии с устойчивостью и долговечностью к конкретным условиям среды. В дальнейшем ассортимент может расширяться за счет новых видов, а многие ныне устойчивые древесные растения, впоследствии могут стать неперспективными. Необходимо увеличивать долю тех видов древесных растений, которые имеют высокий средообразующий потенциал в городских зеленых насаждениях.

Благодарности. Авторы выражают признательность д. п. н., профессору кафедры Ландшафтной архитектуры А. И. Ковешникову (ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина») за консультационную помощь в подготовке публикации.

Список литературы

Богайскова А. В., Коренькова Е. А. Характеристика системы озеленения г. Орла // Современные проблемы озеленения городской среды. Материалы национальной (всероссийской) научно-практической студенческой конференции. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. – С. 20–23.

Дубовицкая О. Ю., Золотарева Е. В. Декоративнолиственные и хвойные деревья и кустарники для озеленения населенных мест // Белгород: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия естественные науки. – 2014. – Т. 29, № 23 (194). – С. 38–43.

Киселева Л. Л., Парахина Е. А., Силаева Ж. Г. Видовой состав и устойчивость древесных насаждений как основа экологического благополучия урбанизированной среды (на примере города Орла) // Самара: Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2 (3). – С. 702–706.

Мониторинг загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс]. – Орловский ЦГМС. – 2022. – Режим доступа: <https://www.cgms.ru/57/text/index.php?id=74> (просмотрено 23.08.2022).

Постановление от 26.08.2004 № 58/601-ГС. Об упорядочении работ по сносу и восстановлению зеленых насаждений на территории города Орла (с изменениями на 28.11.2015) [Электронный ресурс]. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов Консорциум Кодекс. – 2015. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/428537357> (просмотрено 25.11.2021).

Решение от 30.06.2011 № 5/0073-ГС. О Правилах благоустройства и санитарного содержания территории муниципального образования «Город Орел» (с изменениями на 28.11.2019) [Электронный ресурс]. – Администрация города Орла официальный сайт. – 2019. – Режим доступа: <https://www.orel-adm.ru/upload/iblock/36b/36bca07f413a1e4044a9e367c3df95f0.docx> (просмотрено 23.06.2022).

СНиП 2.07.01-89 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений [Электронный ресурс]. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов Консорциум Кодекс. – 2005. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (просмотрено 03.09.2022).

Bogaiskova A. V., Silaeva J. G. Problems of improving the modern assortment of trees in Orel city // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 15–20.

Green spaces in Orel cover an area of 196 hectares, and the city has more than fifty green spaces for recreation of the population. Tree plants are one of the most important and effective types of urban recovery, having a beneficial effect on the composition and purity of air, on human well-being and his psycho-physical state. According to the research 126 species, forms and varieties of tree plants are known in the urban green zones of Orel. There are 95 species of tree plants referred to as introduced plants and 31 species referred to as wild plants. The vast majority of modern tree plant species of Orel originate from Russia. Introduced tree plant species were introduced mainly from North America and only a small part from the Far East. Ecological specificity of landscaping objects in Orel, as in many other cities, involves the division of tree plants depending on microclimate, technogenic pollution, edaphic conditions, recreational load. Emissions from industrial plants predominantly affect plants on the outskirts of the city, while road traffic has a significant impact on tree plants in all parts of the city. Most of the plantings require renovation, including the removal of diseased, ornamental, frosty and endangered trees and the planting of large trees instead. The species diversity of tree plantations in the city of Orel needs to be expanded. The assortment of tree and shrub species should be selected mainly according to their resistance and durability to specific environmental conditions. It is necessary to increase the proportion of those species of woody plants that have a high environment-forming potential in urban green spaces.

Key words: tree plantations, landscape architecture, sustainable assortment, ecological specificity, species diversity, environmental potential.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 23.12.22

УДК 502.52

Интегральная оценка экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» Ивановского водохранилища

Васькова Е. А.^{1,2}, Дмитриев В. В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет
Санкт-Петербург, Россия

² Акционерное общество «Группа компаний Шанэко»
Москва, Россия
ecologvaskovaea@gmail.com; v.dmitriev@spbu.ru

На основе аксиологического подхода формируется авторское представление об экологическом благополучии (ЭБ) системы «водоем – водосбор». Задача оценки ЭБ природно-техногенной системы (ПТС) рассматривается как задача анализа и синтеза показателей на основе разработки многокритериальных и многоуровневых моделей-классификаций, в которых предложены классификационные оценочные шкалы по классам благополучия для территориальных детерминант, характеризующих благополучие наземных и водных геосистем. Цель работы – оценить ЭБ ПТС «водосбор – водохранилище» на примере Ивановского водохранилища для периода 2018–2021 годов. Для оценки введены 5 классов экологического благополучия, используется 3 уровня свертки показателей, в которых выполняются расчеты 9 субиндексов. Первый уровень – качество среды водосбора 3 субиндекса, потенциальная устойчивость водосбора – 1 субиндекс, потенциальная устойчивость водоема – 1 субиндекс, качество воды водоема: – 1 субиндекс, продуктивность водоема – 1 субиндекс. Второй уровень – экологическое благополучие водосбора 2 субиндекса: 1 – потенциальная устойчивость и качество среды водосбора; 2 – экологическое благополучие водоема: продуктивность, качество воды и потенциальная устойчивость водоема: третий уровень – экологическое благополучие водосбора и экологическое благополучие водоема. В результате апробации методологии для ПТС «водосбор – водохранилище» для Ивановского водохранилища с использованием мониторинговых данных за период 2018–2021 годов выполнена серия расчетов композитного индекса ЭБ. В расчетных сценариях исследовалась равновесность/неравновесность задания приоритетов (весовых множителей) внутри субиндексов и на последнем уровне свертки, изменение территориальных детерминант. В целом, получено, что в данный период ЭБ ПТС по величине интегрального показателя последнего уровня свертки оценено III-м классом (левая граница ближе к середине класса) – «Средняя степень ЭБ».

Ключевые слова: экологическое благополучие, природно-техногенная система, Ивановское водохранилище, водосбор Ивановского водохранилища.

ВВЕДЕНИЕ

Система «водосбор – водохранилище» является природно-техногенной системой (ПТС), обеспечение экологического благополучия (ЭБ) которого является неотъемлемым условием средо- и ресурсовоспроизводства и благосостояния населения регионов, сохранения качества среды в них и сбалансированного экономического роста страны в целом.

При оценке ЭБ ПТС исследователь сталкивается с такими проблемами, как многокритериальность и мультиколлинеарность факторов и/или учет нелинейности их влияния на оцениваемое интегративное свойство, репрезентативность выбранных факторов, весомость вклада каждого фактора в интегральную оценку; вид синтезирующей функции, описывающей полученный результат. Необходимо отметить, что большинство оценочных отечественных исследований эмерджентных свойств сложных природных и общественных систем выполнялось до недавнего времени на покомпонентной основе, с использованием балльного, балльно-индексного или комплексного подходов. Обобщение исследований по пространственным составным индексам для оценки неравенств в отношении качества окружающей среды, выполненное в последние годы российскими (Dmitriev et al., 2020) и зарубежными (Delphine Brousmichea et al., 2020) исследователями показало, что в более 1500 зарубежных исследований и в на порядок меньшем количестве отечественных работ по индексам, разработанным для оценки «территориальных детерминант» с точки зрения охраны

окружающей среды, авторами выявлены несколько десятков пространственно-распределенных композитных индекса, в основу которых заложена информация о более чем 300 переменных. Это разнообразие, с точки зрения авторов, характеризует отсутствие методологической основы и может привести к субъективности и ограничению возможности сопоставления различных оценочных результатов. С другой стороны, системологический принцип множественности моделей сложных систем и их эмерджентных свойств подтверждает необходимость разработки разных моделей для исследования интегративных свойств сложных систем. При этом оценивать успешность полученных результатов можно не по самим значениям интегральных показателей, а по их попаданию в один класс оцениваемых сложных свойств.

Заметно, также, что большая часть подходов не нацелена на совершенствование и развитие геоэкологического мониторинга, не позволяет на интегральной основе количественно оценивать неаддитивные (эмерджентные) свойства геосистем с учетом влияния физико-географических условий, факторов естественного и антропогенного режимов на их развитие, не используются методы геосистемного и геоэкологического подхода, геоситуационного подхода и геоэкологического анализа. В итоге отсутствует нацеленность на разработку информационных систем наблюдения, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

В качестве решения данной проблемы авторами в данной статье предлагается использовать аксиологический подход, методы интегрального оценивания (МСП, МРСР, АСПИД-методология) сложных (эмерджентных) систем, которые позволяют разрабатывать модели-классификации интегрального оценивания их состояния и интегративных свойств (продуктивность, устойчивость, экологическое благополучие и др.) систем в условиях достаточного информационного обеспечения и недостатка информации о критериях и приоритетах оценивания. Эти свойства систем неаддитивны по отношению к их компонентному составу и физическим свойствам среды, но при интегральной оценке они используются для характеристики аддитивных (масса, биомасса, численность, концентрация, объем и др.) и неаддитивные (автономность, устойчивость, благополучие, надежность) свойств природных систем.

Цель работы – провести интегральную оценку экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» на примере Иваньковского водохранилища.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Аксиологический подход и квалиметрический анализ, методы интегрального оценивания (Хованов, 1996) сложных систем позволяют разрабатывать модели-классификации интегрального оценивания их благополучия.

Методология оценки экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» включает последовательность следующих этапов, рассмотренных ниже.

1. Отбор обоснованной системы m исходных критериев X_1, \dots, X_m (вектор исходных характеристик) диагностики экологического благополучия ПТС «водосбор - водохранилище» (интегральный показатель ЭБ ПТС – ИПЭБПТС), входящих в композитные индексы КИПУЛ, КИКП, КИКВ, КИКАВ, КИПУВ, КИК, КИПВ.

$$\begin{pmatrix} x_1^{(1)}, \dots, x_i^{(1)}, \dots, x_m^{(1)} \\ x_1^{(j)}, \dots, x_i^{(j)}, \dots, x_m^{(j)} \\ x_1^{(k)}, \dots, x_i^{(k)}, \dots, x_m^{(k)} \end{pmatrix} \quad (1),$$

где $x_i^{(j)}$ – значение i -й характеристики ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, m$) благополучия или свойства j -го объекта.

При выборе критериев следует стремиться к тому, чтобы каждый из них был необходим, а вся их совокупность была достаточна для описания рассматриваемой системы или ее свойства. Следует уточнить, что существуют характеристики (критерии), увеличение значений которых приводит к повышению качества системы (первый тип), а также характеристики, увеличение значений которых приводит к его снижению (второй тип). Одновременно с обоснованным выбором системы критериев вводятся классы ЭБ и формируются оценочные шкалы измерения для каждого критерия. Сводка критериев оценивания представлена в таблицах 1 и 2.

Таким образом, на первом этапе происходит обоснование теоретико-методологических положений для оценки современного и перспективного состояния системы с учетом неопределенности задания критериев и приоритетов оценивания.

2. Выбор нормирующих функций и нормирование исходных показателей. Исключение размерности исходных характеристик (критериев) с условием, при котором высокой степени ЭБ соответствовало бы значение 0, а низкой степени ЭБ значение равное 1 (можно наоборот). При этом, значение q_i лежит в диапазоне $0 \leq q_i \leq 1$. Нормирование показателей осуществляется на основе функций «минимакса», учитывающих вид связи (прямая/обратная) и ее линейность/нелинейность. Неубывающая кусочно-степенная функция вида:

$$q_i = q_i(x)_i = \begin{cases} 0, & x_i \leq \min_i \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^\alpha, & \min_i < x_i \leq \max_i \\ 1, & x_i > \max_i \end{cases} \quad (2)$$

используется в случае, если увеличение i -й исходной характеристики не влечет снижения благополучия, оцениваемого по i -му критерию. При этом, если увеличение i -й исходной характеристики эмерджентного свойства, оцениваемого по i -му критерию, ЭБ не возрастает, и используется невозрастающая кусочно-степенная функция вида:

$$q_i = q_i(x)_i = \begin{cases} 1, & x_i \leq \min_i \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^\alpha, & \min_i < x_i \leq \max_i \\ 0, & x_i > \max_i \end{cases} \quad (3)$$

где: $q_i(x)_i$ – результат нормирования; x_i , \min_i – минимальное значение критерия; \max_i – максимальное значение критерия; α – показатель степени, определяющий вид и степень нелинейности связи параметра с оцениваемым свойством. В нашем случае $\alpha = 1,0$, что оправдано на начальном этапе исследований.

В результате, строится вектор отдельных (нормированных) показателей q_1, \dots, q_m и формируется матрица вида:

$$\begin{vmatrix} q_1^{(1)}, \dots & q_i^{(1)}, \dots & q_m^{(1)} \\ q_1^{(j)}, \dots & q_i^{(j)}, \dots & q_m^{(j)} \\ q_1^{(k)}, \dots & q_i^{(k)}, \dots & q_m^{(k)} \end{vmatrix} \quad \dots \dots \quad \dots \quad (4)$$

где: $q_i^{(j)}$ – значение i -го отдельного показателя ($i = 1, 2, 3, 4 \dots m$) благополучия для j -го объекта ($j = 1 \dots k$).

3. Решение проблемы выбора весовых коэффициентов. Вводится интерпретирующая (синтезирующая) функция $I = I(q, w)$, преобразующая $q_i^{(j)}$ с учетом их приоритетности в

сводной оценке в виде w_i - весовых коэффициентов, в единый интегральный показатель. В качестве выражения для КИПУЛ, КИКП, КИКВ, КИКАВ, КИПУВ, КИК, КИПВ, ИПЭБПТС была выбрана линейная свертка вида:

$$I = I(q; w) = I(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i \quad (5)$$

Задание весовых коэффициентов $w = (w_1, \dots, w_m)$ – неотрицательные «веса», определяющие значимость (приоритет) отдельных критериев для оцениваемого свойства, может быть реализовано на основе формализации неполной, неточной, нечисловой информации (*ннн-информации*) или экспертным путем. При этом элементы вектора весовых коэффициентов должны удовлетворять условиям: $w_1 + \dots + w_m = 1$, $0 \leq w_i \leq 1$.

4. Выбор синтезирующей функции и оценка точности полученных результатов. Переход к интегральной оценке $I = I(q, w) = MI(q, w)$:

$$\bar{I}^{(j)}(w) = \bar{I}(q^j, w) = \frac{1}{N(m, n, w)} \sum_{t=1}^{N(m, n, w)} Q^t(q^j) \quad (6)$$

Оценка точности полученных результатов рассмотрена нами в большом количестве работ, приведенных в списке литературы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлены результаты выборки основных критериев для оценки ЭБ ПТС «водосбор – водохранилище» на основе накопленного опыта (Шитиков, 2003; Дмитриев, 2010; Огурцов, 2016; Севастьянов, 2016), а также фондовых данных мониторинга (табл. 3) (Ахметьева, 2007; Корнева, 2015; Минеева, 2016; Григорьева, 2018; Законнов, 2018; Кирпичникова, 2021; Лазарева, 2018; Минеева, 2019; Боршунова, 2021; Юрова, 2021). В качестве объекта апробации выбрана ПТС «водосбор – водохранилище» для Ивановского водохранилища, расположенного в Тверской и Московской областях. Ивановское водохранилище является основным источником питьевого водоснабжения, поэтому оценивание ЭБ и его изменение является стратегически важной задачей государственного уровня.

На основе разработанной модели-классификации выполнена оценка ЭБ системы «водосбор – водоем» и разработан подход для оценки нормы воздействия на систему и ее подсистемы.

Оценка нормы воздействия и его допустимости состоит в определении положительной или отрицательной значимости оказанного воздействия на систему на основе расчетов ИПЭБ до воздействия и после него и сопоставления интегральных показателей с их значениями, принимаемыми за норму (или за период, предшествующий воздействию). В случае, если система по величине интегрального показателя переходит в другой класс состояния, то воздействие считается нежелательным или недопустимым. Управление процессом осуществляется на основе мониторинга факторных показателей (критериев, признаков), формирующих сводный целевой показатель (индикатор, композитный индекс).

Перечень исходных критериев и их размерности представлены ниже (табл. 1). Интегральное оценивание ЭБ на основе метода сводных показателей (МСП) осуществлялось для двух уровней свертки показателей. На первом уровне реализовано построение ИП при равновесном значении исходных параметров внутри субиндексов. На первом уровне свертки реализовано построение композитных индексов потенциальной устойчивости ландшафта (КИПУЛ), качества водных объектов водосбора (КИКВ), качества почвы (КИКПВ), качества атмосферного воздуха (КИКАВ), качества воды (КИКВ), продуктивности водоема (КИПВ), потенциальной устойчивости (КИПУ). На втором уровне свертки производился расчет интегральных показателей экологического благополучия водосбора (ИПЭБВС) и водохранилища (ИПЭБВХ). На третьем уровне свертки рассчитывался интегральный

показатель экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» (ИПЭБПТС) в целом на основе интегральных показателей первого и второго уровня свертки. В рассмотренном здесь примере расчет ИП производился при равенстве приоритетов (весовых коэффициентов).

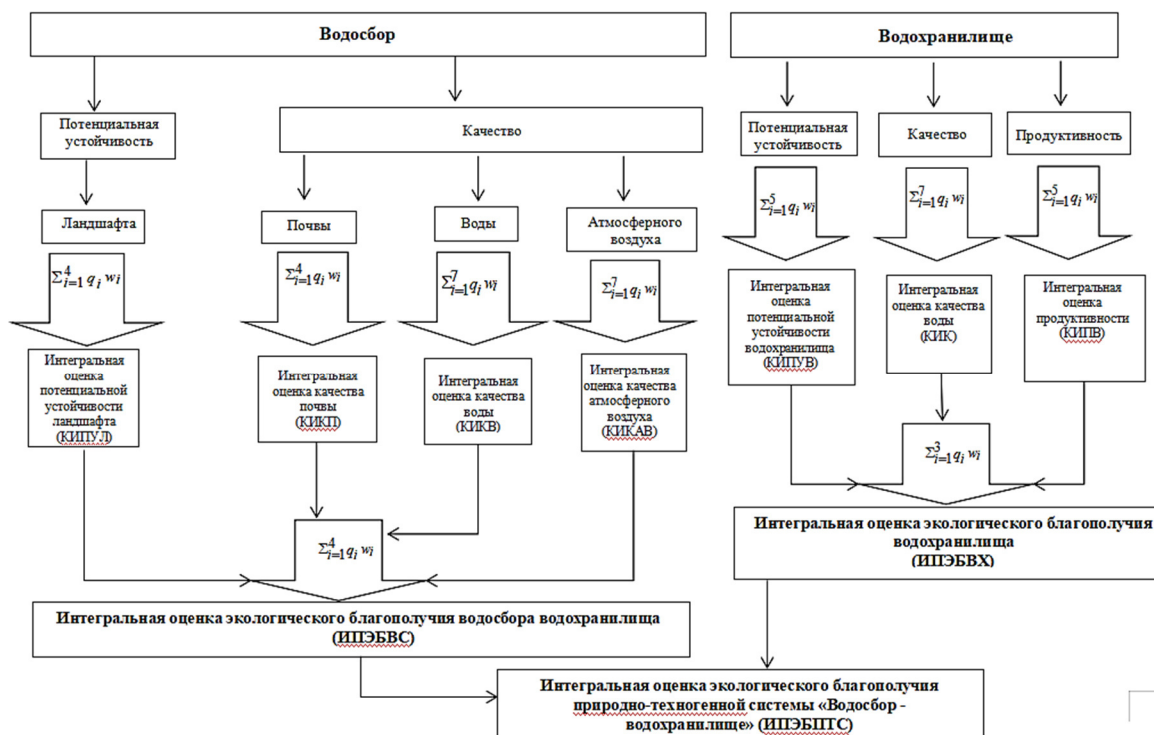


Рис. 1. Алгоритм получения интегрального показателя эмерджентного свойства природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище»

Таблица 1

Критерии оценки экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» для Иваньковского водохранилища

Наименование субиндексов	Территориальные детерминанты, включенные в субиндексы
1	2
Водосбор	
Потенциальная устойчивость ландшафтов водосбора	Оценивается по величине композитного индекса потенциальной устойчивости ландшафта (КИПУЛ) для 5 классов по 4 критериям: радиационный баланс (ккал/см ² год), радиационный индекс сухости (К), ветровой режим: количество дней с сильными ветрами (баллы), индекс биологической эффективности климата (ТК)
Качество водных объектов водосбора	Оценивается по величине композитного индекса качества водных объектов водосбора (КИКВ) для 5 классов и включает 7 критериев: цветность (град), перманганатная окисляемость (мгО/л), концентрация Mn (мг/л), концентрация Fe (мг/л), концентрация Р _{общ} (мгР/л), концентрация РО ₄ (мгР/л), концентрация нитритного азота NO ₃ (мг/л)
Качество почвы	Оценивается по величине композитного индекса качества почвы (КИКПВ) для 5 классов и включает 4 оценочных критерия: суммарный показатель загрязнения (Zс) (ед.), индекс БГКП, яйца и личинки гельминтов (жизнеспособных), коли-титр.

Таблица 1 (продолжение)

1	2
Качество атмосферного воздуха	Оценивается по величине композитного индекса качества атмосферного воздуха (КИКАВ) для 5 классов по 7 критериям: концентрация взвешенных веществ (дПДК), концентрация SO ₂ (дПДК), концентрация NO ₂ (дПДК), концентрация NO (дПДК), концентрация CO (дПДК), концентрация формальдегида (дПДК), концентрация бенз(а)пирена (дПДК)
Водохранилище	
Качество воды водохранилища	Оценивается по величине композитного индекса качества воды (КИКВ) для 5 классов по 7 критериям: водородный показатель (рН единиц), электропроводность (мкСм/см), прозрачность по диску Секки (SD) (м), цветность (град), БПК ₅ (мгО ₂ /л), концентрация азота аммонийного (NH ₄ ⁺) (мгN/л), концентрация меди (мг/л), хлорофилл «a» (мкг/л)
Продуктивность водоема	Оценивается по величине композитного индекса продуктивности воды (КИПВ) для 5 классов и включает 4 критерия: концентрация общего фосфора (P) (мгк/л), насыщенность кислородом (%), отношение биомассы зоопланктона к биомассе фитопланктона (доли ед.), биомасса фитопланктона (г/м ³)
Потенциальная устойчивость водоема	Оценивается по величине композитного индекса потенциальной устойчивости (КИПУ) для 5 классов по 6 критериям: наличие сезонной стратификации (баллы), вертикальное перемешивание, количество раз за год (баллы), условия проточности водоема (баллы), водообмен в год (ед.), характер регулирования стока (баллы)

Шкала интегрального показателя ЭБ последнего уровня свертки представлена ниже (табл. 2). Выделены пять классов ЭБ (I – высокая степень ЭБ, II – нормальная степень ЭБ, III – средняя степень ЭБ, IV – низкая степень ЭБ, V – чрезвычайно низкая степень ЭБ). Названия классов могут быть изменены (уточнены) по желанию пользователей.

Таблица 2

Оценочная шкала интегрального показателя экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» (второй уровень свертки)

Класс экологического благополучия	I Высокая степень ЭБ	II Нормальная степень ЭБ	III Средняя степень ЭБ	IV Низкая степень ЭБ	V Чрезвычайно низкая степень ЭБ
Интегральный показатель экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» (ИПЭБПТС)	0,00–0,16	0,16–0,33	0,33–0,51	0,51–0,75	0,75–1,00
Δ _{ИПЭБПТС}	0,16	0,17	0,18	0,24	0,25
Δ̄ _{ИПЭБПТС}	0,08	0,085	0,09	0,12	0,13
Середина (ИПЭБПТС)	0,08	0,25	0,42	0,63	0,88

В результате апробации рассмотренной выше методики ИПЭБПТС составил 0,41. Таким образом, по величине ИП ПТС «водосбор – водохранилище» для Ивановского водохранилища следует отнести к III классу ЭБ (левая граница класса, ближе к середине класса), и соответствует по введенной классификации средней степени ЭБ (границы ИП для класса 0,33–0,51).

Таблица 3

Исходные данные для оценки экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» по материалам натуральных наблюдений 2018–2021 годов и результаты их нормирования (первый и второй уровни свертки)

Наименование критерия	Рекогносцировочное значение	Нормированное значение
1	2	3
Водохранилище		
Водородный показатель, рН единиц	8,20	0,00
Прозрачность по диску Секки (SD), м	1,7	0,68
Цветность, град	85	0,85
БПК ₅ , мгО ₂ /л	1,9	0,19
Концентрация азота аммонийного (NH ₄ ⁺), мгN/л	0,32	0,064
Концентрация меди, мг/л	0,006	0,00
Концентрация железа, мг/л	0,95	0,00
КИК	-	0,25
Хлорофилл <i>a</i> , мкг/л	20,7	0,37
Концентрация общего фосфора, мгк/л	0,04	1,00
Насыщенность кислородом	72,4	0,20
Отношение биомассы зоопланктона к биомассе фитопланктона	0,82	0,20
Биомасса фитопланктона, г/м ³	5,2	0,052
КИПВ	-	0,36
Наличие сезонной стратификации, баллы	2	0,20
Вертикальное перемешивание, количество раз за год, баллы	1	0,800
Условия проточности водоема, баллы	4	0,6
Водообмен в год, ед.	8,3	0,83
Характер регулирования стока, баллы	4	0,60
КИПУВ	-	0,61
ИПЭБВ	-	0,41
Водосбор		
Радиационный баланс (ккал/см ² год)	33,10	1,0
Радиационный индекс сухости (К)	0,77	1,0
Ветровой режим: количество дней с сильными ветрами (баллы)	27	1,0
Индекс биологической эффективности климата (ТК)	6	0,30
КИПУЛ	-	0,83
цветность (град)	263,8	1,0
перманганатная окисляемость (мгО/л)	36,2	1,0
концентрация Mn (мг/л)	0,03	0,0
концентрация Fe (мг/л)	0,66	0,66
концентрация P _{общ} (мгP/л)	0,11	0,10
концентрация PO ₄ (мгP/л)	0,09	0,15
концентрация нитритного азота NO ₃ (мг/л)	0,51	0,13
КИКВ	-	0,43
суммарный показатель загрязнения (Z _c), ед.	25	0,20
индекс БГКП, ед.	1	0,00
яйца и личинки гельминтов (жизнеспособных)	не обнаружено	0,00

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3
коли-титр	не обнаружено	0,00
КИКП	-	0,05
концентрация взвешенных веществ (дПДКс.с.)	1,4	0,70
концентрация SO ₂ (дПДКс.с.)	0,1	0,05
концентрация NO ₂ (дПДКс.с.)	0,7	0,35
концентрация NO (дПДКс.с.)	0,4	0,20
концентрация CO (дПДКс.с.)	0,4	0,20
концентрация формальдегида (дПДКс.с.)	0,4	0,20
концентрация бенз(а)пирена (дПДКс.с.)	0,8	0,40
КИКАВ	-	0,30
ИПЭБВ	-	0,40

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы на основе литературных обобщений выделены признаки (критерии) для оценки ЭБ ПТС «Водосбор Ивановского водохранилища – Ивановское водохранилище», выделены классы ЭБ ПТС, собраны данные мониторинговых исследований за 2018–2021 годы; рассчитаны интегральные показатели ЭБ ПТС при условии равенства весов (приоритетов) внутри групп и между группами критериев в предположении линейного характера связей между индикаторами и оцениваемым свойством. Использование методологии построения ИП на основе МСП позволило получить интегральную оценку ЭБ ПТС и далее в серии экспериментов исследовать поведение системы при внешних воздействиях на нее. Для 2018–2021 годов ЭБ ПТС оценено III-м классом (левая граница ЭБ ближе к середине) – средняя степень ЭБ.

Список литературы

- Ахметьева Н. П. Экологическое состояние природных вод водосбора Ивановского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения. – Москва: Изд-во ЛКИ, 2007. – 223 с.
- Боршунова Д. В. Оценка степени загрязнения почвы по микробиологическим и паразитологическим показателям от объекта размещения отходов (ОРО), расположенного по адресу: Тверская обл., Калининский р-н, Славновское с/п, 21 км автодороги Тверь-Бежецк // Вестник научных конференций. – 2021. – № 7-2 (71). – С. 25–30.
- Григорьева И. Л., Комиссаров А. Б., Чекмарёва Е. А. Трансформация качества воды Ивановского водохранилища и его малых притоков за многолетний период под воздействием природных и антропогенных факторов // Вопросы географии. Русское географическое общество. Сб. 145. Гидрологические изменения. – 2018. – С. 337–347.
- Григорьева И. Л., Чекмарева Е. А. Влияние рекреационного водопользования на качество воды Ивановского водохранилища // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 3. – С. 63–70
- Дмитриев В. В., Федорова И. В., Бирюкова А. С. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. Часть IV. Интегральная оценка экологического благополучия наземных и водных геосистем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2016. – № 2. – С. 37–53.
- Дмитриев В. В., Огурцов А. Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Серия 7. Геология. География. – 2014. – № 4. – С. 114–130.
- Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе // Биосфера. – 2010. – Т. 2, № 3, – С. 507–520.
- Законнов В. В., Григорьева И. Л., Законнова А. В. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 5. Донные отложения и качество воды Ивановского водохранилища // Водное хозяйство России. – 2018. – Т. 35, № 3. – С. 48.

Кирпичникова Н. В., Полянин В. О., Курбатова И. Е., Черненко Ю. Д. Критерии оценки экологического состояния водосборов малых рек и выноса биогенных веществ в Иваньковское водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 6. – С. 81–105.

Корнева Л. Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги / [Ред. А. И. Копылов]. – Кострома : Костромской печатный дом, 2015. – 284 с.

Лазарева В. А., Сибитова Р. З., Быкова С. В., Жданова С. М., Соколова Е. А. Распределение летнего зоопланктона в каскаде водохранилищ Волги и Камы // Труды ИБВВ РАН. – 2018. – Вып. 83 (86), – С. 62–83.

Минеева Н. М., Корнева Л. Г., Соловьева В. В. Влияние факторов среды на фотосинтетическую активность фитопланктона водохранилищ реки Волги // Биология внутренних вод. – 2016. – № 3. – С. 47–56.

Минеева Н. М. Содержание фотосинтетических пигментов в водохранилищах верхней Волги (2005–2016 гг.) // Биология внутренних вод. – 2019. – № 2. – С. 33–41.

Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. Деп. ВИНТИ 01.09.2000. № деп.2342В00, 275 с.

Хованов Н. В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. – СПб.: СПбГУ, 1996. – 195 с.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 436 с.

Юрова О. В. Состояние вод в зоне Иваньковского водохранилища и влияние на водные биологические ресурсы // Материалы Международной научно-практической конференции. Инновационные технологии в АПК: проблемы и перспективы, Тверь, 2021. – С. 137–141.

Brousmichea D., Occellia F., Geninb M., Cunya D., Derama A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecological Indicators*. 111 (2020) 106023. URL.: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106023>. (дата обращения: 03.02.2020).

Dmitriev V. V., Terleev, V. V., Nikonorov, A. O., Ogurtsov, A. N., Osipov, A. G., Sergeev, Y. N., Kulesh, V. P., Fedorova, I. V. (2020). Global Evaluation of the Status and Sustainability of Terrestrial Landscapes and Water Bodies. *Landscapes Modelling and Decision Support*, 231–253. doi:10.1007/978-3-030-37421-1_12

Vaskova E. A., Dmitriev V. V. Integral assessment of the ecological well-being of the natural-technogenic system "catchment - reservoir" of the Ivankovo reservoir // *Ekosistemy*. 2023. Iss. 34. P. 21–29.

Based on the axiological approach, the author's idea of the ecological well-being (EW) of the "reservoir-catchment" system is formed. The goal of assessing the EW of a natural-technogenic system (NTS) is considered as a task of analyzing and synthesizing indicators based on the development of multi-criteria and multi-level classification models, in which classification assessment scales are proposed according to well-being classes for territorial determinants that characterize the well-being of terrestrial and aquatic geosystems. The purpose of the work: to assess the EW of the NTS "catchment – reservoir" on the example of the Ivankovskoye reservoir for the period 2018–2021. For the assessment, 5 classes of environmental well-being are introduced, 3 levels of convolution of indicators are used, in which 9 sub-indices are calculated. The first level is the quality of the watershed environment – 3 sub-indices, the potential sustainability of the watershed – 1 sub-index, the potential sustainability of the reservoir – 1 sub-index, the water quality of the reservoir: – 1 sub-index, the productivity of the reservoir – 1 sub-index. The second level is the ecological well-being of the watershed 2 sub-indices: 1 – potential sustainability and quality of the watershed environment; 2 – ecological well-being of the reservoir: productivity, water quality and potential sustainability of the reservoir: the third level – the ecological well-being of the watershed and the ecological well-being of the reservoir. As a result of approbation of the methodology for the PTS "catchment – reservoir" for the Ivankovskoye reservoir using monitoring data for the period 2018–2021, a series of calculations of the composite EB index was performed. In the calculation scenarios, the equilibrium/nonequilibrium setting of priorities (weight factors) within the sub-indices and at the last level of convolution, the change in territorial determinants, was studied. In general, it was found that in this period, the PTS EB was assessed by the value of the integral indicator of the last convolution level as the III-rd class (the left border is closer to the middle of the class) – “Average degree of EW”.

Key words: ecological well-being, natural-technogenic system, Ivankovskoye reservoir, catchment area of Ivankovskoye reservoir.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 25.01.23

УДК 504.054

Биогеохимические особенности сосняков лесостепи Челябинской области

Глинских А. Д.

Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета
Санкт-Петербург, Россия
ana.glin@yandex.ru

В работе дается комплексная оценка интенсивности загрязнения отдельных участков лесной растительности лесостепной зоны Челябинской области, разнородных от источников загрязнения (в районе источников загрязнения, буферной и переходной зонах), производится оценка радиуса действия тех или иных промышленных центров на окружающую среду. Исследование проводилось, главным образом, методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), а также с использованием потенциометрического метода измерения pH. Полевые работы проводились в 2021 году. В качестве исследуемых компонентов биогеоценозов были выбраны почва, корка и хвоя сосны (*Pinus sylvestris* L.), листья подроста рябины (*Sorbus aucuparia* L.), надземная часть доминантов травяно-кустарничкового яруса. В статье приводятся данные по различным биогеохимическим коэффициентам – коэффициенту концентрации, коэффициенту биологического накопления и суммарному показателю загрязнения. Суммарное загрязнение почв – привлекающее особое внимание – отражено в виде картографического материала. Показатели кислотности продемонстрировали кислую, слабокислую и нейтральную реакции почв. Общие различия между коэффициентами биологического накопления для разных компонентов исследования объясняются физиологическими особенностями: корка демонстрирует долгосрочное накопление, хвоя отражает накопление за несколько вегетационных сезонов, листья рябины и листья травянистых растений – сезонное. Примечательно, что цинк – единственный химический элемент, демонстрирующий высокие значения корреляции для всех компонентов исследования. В травяно-кустарничковом ярусе наблюдается ярко выраженная концентрационная функция у листьев растений рода *Filipendula*. Половина исследуемых сосняков, располагающихся в восточной и юго-восточной частях лесостепи демонстрируют отсутствие влияния на них крупных промышленных центров и характеризуется допустимыми показателями загрязнения. Другая половина, приуроченная к северо-западной и центральной частям лесостепи, испытывает негативное влияние промышленных центров.

Ключевые слова: биогеохимия, экология, сосняки, загрязнение, тяжелые металлы.

ВВЕДЕНИЕ

Как сообщает Минприроды России, экологическая обстановка в Челябинской области остается одной из самых напряженных в России. Челябинская область лидирует по выбросам в атмосферный воздух твердых веществ – 1 место в России (более трети всех выбросов твердых частиц); по оксиду углерода – 2 место (около 6 процентов всех выбросов); по диоксиду серы – 5 место (около 4 процентов всех выбросов) (Васенина, Сушко, 2020). Так, согласно имеющимся данным, в 2020 году количество выброшенных диоксидов серы и азота соответственно составило 251403 и 468496 тонн в Уральском федеральном округе (Доклад об экологической..., 2021).

Высокий уровень антропогенной нагрузки обусловлен влиянием крупных промышленных центров, таких как Челябинск, Карабаш, Кыштым, Коркино и других.

Основными лесобразующими породами лесостепи Челябинской области являются береза (*Betula* L.) и сосна (*Pinus* L.). При этом область характеризуется низкими показателями лесистости (29,4 %), а сосняки лесостепи представлены, в основном, островными борами (Постановление губернатора..., 2017). Названия растений даны по сводке С.К. Черепанова (1995).

В связи с вышесказанным сохранение этих лесов является одной из важнейших задач в рамках лесного хозяйства Челябинской области.

Цель работы – выявить биогеохимические особенности сосняков лесостепи Челябинской области по пяти компонентам биогеоценозов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые работы проводились в период с 03.08.2021 по 03.09.2021. Началом маршрута является участок леса в окрестностях города Кыштыма – одного из промышленных центров лесостепи Челябинской области. Кыштым располагается на северо-западной границе лесостепи. Окончание маршрута – город Троицк, располагающийся на юго-восточной границе лесостепи и, одновременно, у государственной границы с Казахстаном. В ходе полевых исследований производился выбор участков сосняков, расположенных на расстоянии, приблизительно равном 10 км. В районах наиболее сильного промышленного воздействия (Кыштым, Челябинск) закладывалось несколько пробных площадей (ПП). Две ПП были заложены вне намеченного маршрута – в Октябрьском районе, где предполагались наименьшие показатели загрязнения почвы и растительности – чтобы принять их за региональный фон. Общая протяженность маршрута составляет около 243 км, количество заложённых ПП площадью 400 м² – 31.

В ходе работы на территории Зауральского пенепплена было заложено 20 ПП (причем часть из них находится на границе с горно-лесной зоной), на Западно-Сибирской низменности – 8. Еще три ПП оказались на границе между Зауральским пенеппленом и Западно-Сибирской низменностью.

Таким образом, для исследуемой трансекты характерно 2 значимых флористических рубежа (Левит, 2005; Куликов, 2005; Степи и лесостепи..., 2006).

На северо-западе наиболее значимыми промышленными центрами являются АО «Кыштымский медеэлектролитный завод» в городе Кыштым и АО «Карабашмедь» в Карабаше. В центральной части района исследования располагается город Челябинск, большая часть промышленных предприятий которого сконцентрирована в Металлургическом районе (АО «Челябинский электрометаллургический комбинат», ПАО «Мечел», ПАО «Челябинский трубопрокатный завод», ПАО «Челябинский цинковый завод»). При движении на юго-восток области встречаются следующие промышленные центры: Томинский ГОК и Коркинский угольный разрез, использующийся в качестве хвостохранилища Томинского ГОК, города Южноуральск и Троицк.

В качестве исследуемых компонентов биогеоценозов были выбраны почва, корка сосны (*Pinus sylvestris* L.), хвоя сосны, листья подроста рябины (*Sorbus aucuparia* L.), надземная часть доминантов травяно-кустарничкового яруса (Терехина, 2010). На трех пробных площадях не произрастала рябина, в связи с чем всего было отобрано 152 образца.

Анализ проводился в Ресурсном центре Научного парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества» методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Модель используемого прибора – ICPE-9000. Анализ проводился под руководством Волиной Ольги Владимировны – кандидата химических наук, ведущего специалиста Ресурсного центра СПбГУ.

Метод ИСП-МС основан на принципах атомной эмиссионной спектроскопии, включающей несколько аналитических методов, используемых для определения элементного состава пробы посредством исследования ее электромагнитного спектра или масс-спектра (МС). Данный метод был выбран в связи с его высокой точностью (> 10⁻⁵ %). Стандартные образцы анализируемых элементов для калибровочных растворов приготовлены из мультикомпонентного стандарта MERCK в 0,1N растворе азотной кислоты. Диапазон калибровочных растворов: 0,001-100 мг/л. Спектральный анализ растворов образцов проводился в аксиальном режиме с разбавлением в 10 раз и без разбавления (Методы физико-химического..., 2015; Илларионова, 2021).

Известно, что тяжелые металлы в почве могут находиться в малоподвижной и подвижной растворимой форме. В работе для анализа были выбраны подвижные формы элементов, демонстрирующие более значимую корреляцию между растениями и почвами и способные достоверно отразить степень антропогенного воздействия на растительное сообщество (Безуглова, Орлов, 2000). Для исследования были выбраны следующие элементы: во всех образцах определялись подвижные формы тяжелых металлов (Fe, Ni, Cr, Co, Mn, Cu, Pb, Cd,

Zn) и Al, в почвах, в силу отсутствия этапа сухого озонения, дополнительно определялась ртуть (Hg), а также сера (S) и фосфор (P).

Следует сразу отметить, что содержание ртути оказалось ниже предела обнаружения (<LQ) во всех пробах.

Также в лаборатории геоэкологического мониторинга института Наук о Земле СПбГУ оценивались показатели значений актуальной и потенциальной кислотности почв.

После получения результатов вычислялось среднее значение из двух повторностей для каждой пробы, которое и использовалось в дальнейших расчетах: осуществлялась статистическая обработка результатов, вычислялись биогеохимические коэффициенты (Кс – коэффициент концентрации, Кбн – коэффициент биологического накопления, Zс – суммарный показатель загрязнения) (Терехина, 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе работы также было заложено 2 ПП (ПП № 30 и 31), которые должны были выступить в качестве регионального фона (Сф) для всех компонентов исследования. Однако было установлено, что концентрация ряда химических элементов на ПП № 31 достаточно высока и не позволяет выбрать данный участок в качестве регионального фона. В связи с чем возникла необходимость выделения альтернативных ПП с наиболее низкими значениями концентраций химических элементов, а также поиска дополнительных референсных значений. Было выявлено четыре ПП, отличающиеся наиболее низкими концентрациями химических элементов: ПП № 18, 19, 20 и 30. Путем вычисления среднего получены фоновые концентрации всех элементов.

Полученные Zс, соответствующие тем или иным ПП, были сгруппированы по своим значениям и нашли отражение в районировании территории. Так, в результате была получена карта, на которой отмечены зоны чрезвычайно опасной, умеренно опасной, буферной категорий загрязнения, а также зона с допустимым уровнем загрязнения (рис. 1).

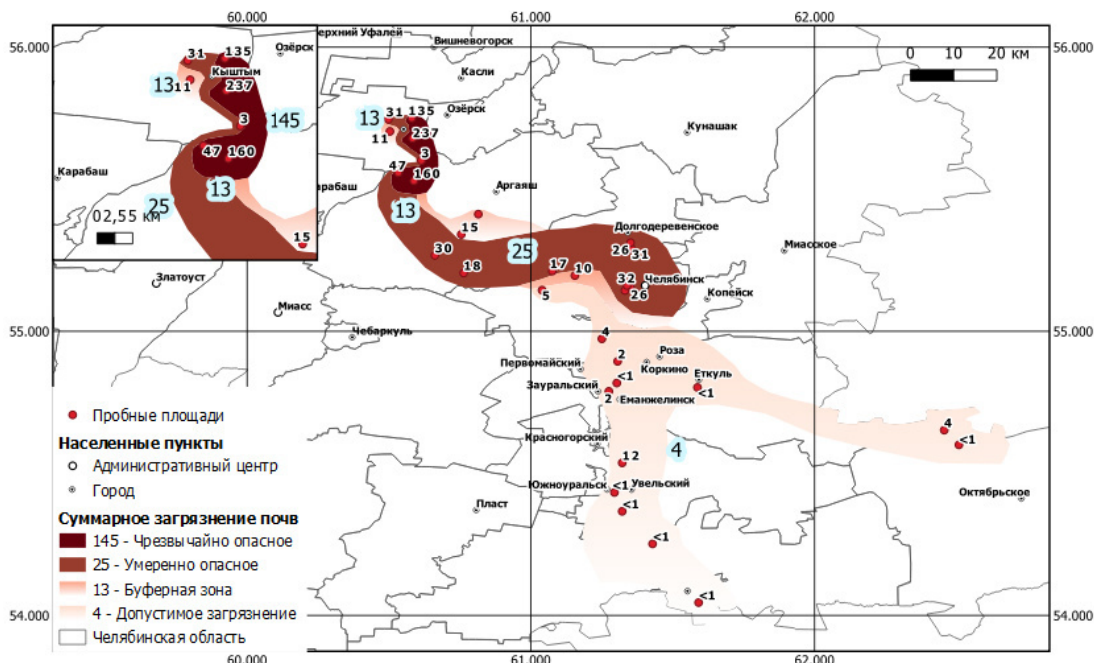


Рис. 1. Уровень суммарного загрязнения почв сосняков лесостепи Челябинской области
Цифрами рядом с точками ПП обозначены показатели суммарного загрязнения, характерные для конкретной ПП.

Уровень опасности загрязнения почв устанавливается по ориентировочной оценочной шкале, предложенной в СанПиН 2.1.7.1287-03.

Также в ходе исследования была дана оценка вклада отдельных химических элементов в суммарные показатели загрязнения почв (рис. 2).

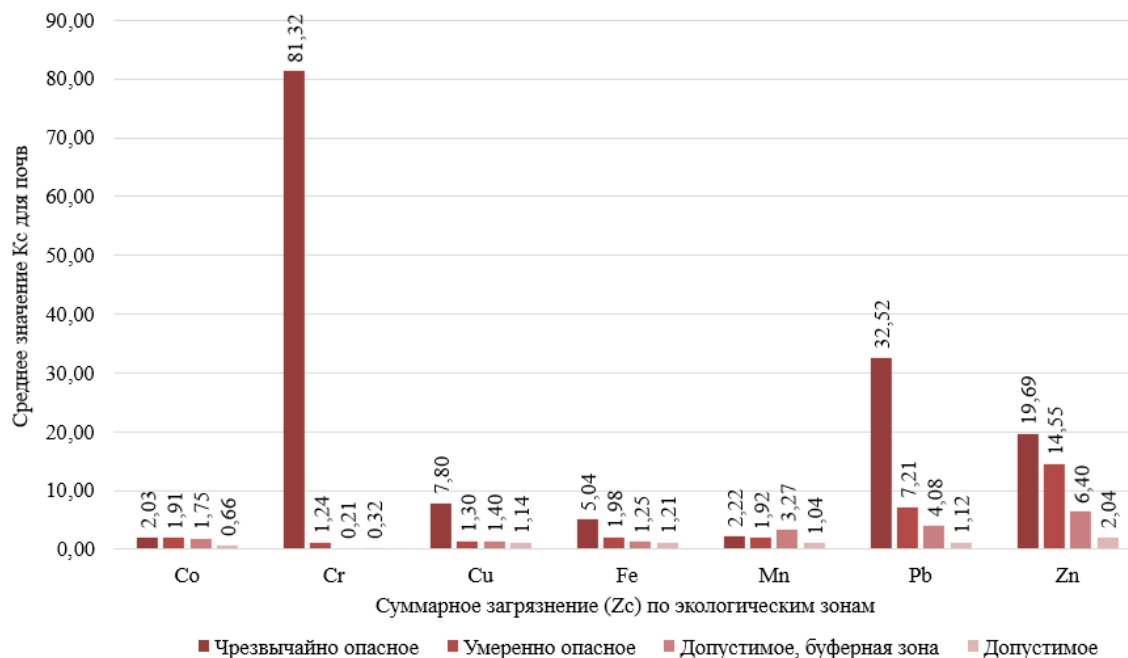


Рис. 2. Вклад отдельных химических элементов в показатели суммарного загрязнения почв экологических зон исследуемого района

Показатели кислотности продемонстрировали кислую, слабокислую и нейтральную реакции почв (табл. 1).

Таблица 1

Статистические показатели почв (Kс, Zс и рН) по экологическим зонам

Категория загрязнения	Среднее значение Kс							Среднее значение Zс	рН (водный)	рН (KCl)
	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn			
Чрезвычайно опасное	2,03	81,32	7,80	5,04	2,22	32,52	19,69	144,67	4,76	3,92
Умеренно опасное	1,91	1,24	1,30	1,98	1,92	7,21	14,55	25,12	5,79	5,02
Допустимое, буферная зона	1,75	0,21	1,40	1,25	3,27	4,08	6,40	13,07	5,83	4,94
Допустимое	0,66	0,32	1,14	1,21	1,04	1,12	2,04	4,39	5,92	5,16

Минимальное значение актуальной рН – 4,27 (ПП № 2), максимальное – 6,9 (ПП № 29); для потенциальной кислотности минимальное значение рН – 3,52, максимальное – 6,28 (для тех же ПП). Для данного района исследования характерны черноземы языковатые и карманистые выщелоченные (нейтральная рН), лугово-черноземные солонцеватые (слабощелочная рН) и серые лесные (слабокислая) (Национальный атлас..., 2011).

Принимая во внимание высокий уровень антропогенной нагрузки, можно сделать вывод о том, что низкие значения рН обусловлены влиянием промышленных центров: наиболее низкими значениями рН характеризуются ПП экологической зоны с чрезвычайно опасным уровнем загрязнения. Известно, что увеличение кислотности почв ведет к сокращению

запасов питательных элементов (особенно магния и кальция), повышению мобильности токсичных для растений алюминия, марганца, меди, цинка и разрушению всего почвенного комплекса (Павлов, 2006).

Согласно полученным данным, среди растительных компонентов сосняков наиболее заметные показатели загрязнения отмечаются для корки, основными элементами-загрязнителями выступают Pb, Cu, Cd, Zn. Наибольшие значения Кс корки сосны отмечаются для проб, отобранных на ПП № 9, 10, 27. Эти же точки характеризуются и максимальными значениями показателя суммарного загрязнения.

Следует также отметить, что Кс по меди ($r = 0,78$), свинцу ($r = 0,79$), цинку ($r = 0,75$) и Zc ($r = 0,54$) для корки и почвы хорошо коррелируют, что позволяет сделать вывод о том, что корка сосны выступает хорошим фитоиндикатором загрязнения.

Для хвои, листьев рябины и травянистых растений не отмечаются значения суммарного показателя загрязнения, позволяющего отнести ПП к умеренно опасным (и выше) по загрязнению (исключение – ПП № 9, Zc = 26. Растение-доминант – *Rubus saxatilis*). ПП № 9 располагается в сосновом бору, протянувшемся вдоль берега озера Увильды, являющегося наиболее популярным местом отдыха жителей Челябинской области.

Так, для хвои среднее значение Zc = 2, а для листьев рябины, как и для травянистых растений, среднее значение Zc = 3. Следует также отметить, что разные химические элементы неодинаково накапливаются растениями: например, Mn очень слабо концентрируется сосной (как коркой, так и хвоей), тогда как листья рябины концентрируют и накапливают его очень эффективно.

Общие различия между Кбн для разных компонентов исследования объясняются физиологическими особенностями: корка демонстрирует долгосрочное накопление, хвоя отражает накопление за несколько вегетационных сезонов, листья рябины и листья травянистых растений – сезонное. Но представляется значимым, что Кбн Zn для хвои зачастую выше, чем для корки, также он достаточно высок для листьев рябины. Таким образом, цинк – металл, эффективнее накапливаемый фотосинтезирующими органами растений и демонстрирующий сезонное загрязнение. Примечательно, что цинк – единственный химический элемент, демонстрирующий высокие значения корреляции для всех компонентов исследования.

В травяно-кустарничковом ярусе наблюдается ярко выраженная концентрационная функция у листьев растений рода *Filipendula*.

В целом, сезонные показатели загрязнения не являются высокими. В связи с этим представляется справедливым, что современные промышленные предприятия характеризуются инновационными системами очистки выбросов, защищающие окружающую среду от попадания большого количества поллютантов. Корка и почва могут демонстрировать загрязнение, накопленное за прошлый длительный период эксплуатации предприятий, функционирующих без должных систем очистки.

Согласно полученным данным, наиболее загрязненными в целом оказались сосняки, приуроченные к северо-западной части лесостепи и находящиеся в радиусе нескольких десятков км от промышленных предприятий (так, ПП № 9 находится на расстоянии 23 км от АО «Кыштымский медеэлектролитный завод» и 25 км от АО «Карабашмедь»). Следует отметить тот факт, что ПП № 9, характеризующаяся наиболее критическими показателями загрязнения как отдельных компонентов биогеоценоза, так и суммарного загрязнения, располагается в развитой курортной зоне озера Увильды.

Сосняки, протянувшиеся с северо-запада к городу Челябинску также продемонстрировали достаточно высокие показатели загрязнения. Выявить радиус действия предприятий, действующих на сосняки импактной зоны с умеренно опасным уровнем загрязнения не представляется возможным, так как на расстоянии 80 км (Кыштым – Челябинск) происходит наложение радиусов воздействия ряда промышленных центров друг на друга. Юго-восточная часть лесостепи оказалась свободной от негативного воздействия поллютантов. Важно отметить, что расположенный южнее от города Челябинска Томинский ГОК (в зоне влияния которого оказались ПП № 16, 17 и 29), в настоящее время не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. Это значимо в свете того, что строительство Томинского ГОК в 2013 году вызвало у жителей области серьезный общественный резонанс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, половина исследуемых сосняков, располагающихся в восточной и юго-восточной частях лесостепи демонстрируют отсутствие влияния на них крупных промышленных центров и характеризуется допустимыми показателями загрязнения. Другая половина, приуроченная к северо-западной и центральной частям лесостепи, испытывает негативное влияние промышленных центров.

В связи с вышесказанным представляется особенно важным сохранять и защищать сосняки лесостепи Челябинской области. Этому может способствовать дальнейшее совершенствование очистных систем на промышленных предприятиях, создание более развитой сети ООПТ и снижение уровня рекреационной нагрузки на сосняки.

Список литературы

- Безуглова О. С., Орлов Д. С. Биогеохимия. – Ростов н /Д: «Феникс», 2000. – 320 с.
- Васенина И. В., Сушко В. А. Влияние промышленной инфраструктуры на экологию региона и качество жизни местного населения // Социология. – 2020. – № 2. – С. 205–214.
- Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2020 году. Министерство экологии Челябинской области. – 2021. – 434 с.
- Илларионова Е. А., Сыроватский И. П. Основы метода масс-спектрометрии. Практическое применение метода : учебное пособие. – Иркутск : ИГМУ, 2021. – 49 с.
- Левит А. И. Южный Урал: География, экология, природопользование. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 2005. – 246 с.
- Куликов П. В. Конспект флоры Челябинской области. – Екатеринбург – Миасс: «Геотур», 2005. – 537 с.
- Методы физико-химического анализа почв и растений / [Ред. М. Г. Опекунова]. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2015. – 84 с.
- Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
- Павлов И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения : [монография]. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского науч. центра СО РАН, 2006. – 359 с.
- Постановление губернатора Челябинской области от 29.12.2017 г. № 282 «Об утверждении Лесного плана Челябинской области на 2019–2028 гг.» [Электронный ресурс]. – Главное управление лесами Челябинской области. – Режим доступа: <https://priroda.gov74.ru/> (просмотрено 15.08.2022)
- Степи и лесостепи Зауралья: материалы к исследованиям: тр. музея-заповедника «Аркаим» / [Ред. Ф. Н. Петров]. – Челябинск: Крокос, 2006. – 190 с.
- Терехина Н. В. Методические указания к проведению фитогеохимических исследований. – СПб, 2010. – 25 с.

Glinskikh A. D. Biogeochemical features of forest-steppe pine forests in the Chelyabinsk region // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 30–35.

The work gives a comprehensive assessment of the intensity of pollution of certain areas of forest vegetation forest-steppe zone of the Chelyabinsk region, different distances from the sources of pollution (in the area of pollution sources, buffer and transition zones), the assessment of the radius of action of certain industrial centers on the environment. The study was carried out mainly by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), as well as using a potentiometric method of measuring pH. The field work was carried out in 2021. The soil, pine (*Pinus sylvestris* L.) crust and needles, leaves of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) undergrowth, and the above-ground part of the dominant grass and shrub tier were chosen as the biogeocenosis components under study. The article provides data on various biogeochemical coefficients - the concentration factor, the coefficient of biological accumulation and the total pollution index. The total pollution of soils - which attracts particular attention - is reflected in the form of cartographic material. Indicators of acidity demonstrated acidic, weakly acidic and neutral reactions of soils. General differences between the coefficients of biological accumulation for different components of the study are explained by physiological features: crust demonstrates long-term accumulation, needles reflect accumulation over several growing seasons, leaves of mountain ash and leaves of herbaceous plants - seasonal. It is noteworthy that Zn is the only chemical element showing high correlation values for all components of the study. In the herbaceous-bush layer, a pronounced concentration function is observed in the leaves of plants of the genus *Filipendula*. Half of the studied pine forests, located in the eastern and south-eastern parts of the forest-steppe demonstrate no influence of large industrial centers and are characterized by permissible pollution indicators. The other half, confined to the northwestern and central parts of the forest-steppe, experiences a negative impact of industrial centers.

Key words: biogeochemistry, ecology, pine forests, pollution, heavy metals.

Поступила в редакцию 25.11.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 574.583:574.21:574.633

Фитопланктон и экологическое состояние Чудско-Псковского озера

Дрозденко Т. В., Александрова С. М., Антал Т. К.

*Псковский государственный университет
Псков, Россия
tboichuk@mail.ru*

В гидробиологическом мониторинге исследованиям фитопланктона отводится важное значение. Микроводоросли выступают первичными продуцентами органического вещества, участвуют в процессах самоочищения водных объектов, быстро реагируют на изменения в водной среде. Цель работы заключалась в исследовании экологического состояния и качества воды Чудско-Псковского озера по показателям фитопланктона в разные сезоны 2021 года. За весь период идентифицировано 224 видовых таксона микроводорослей (в Псковском озере – 196, Чудском – 179) из 8 отделов: Bacillariophyta – 83, Chlorophyta – 56, Cyanobacteria – 41, Ochrophyta – 15, Charophyta – 9, Euglenophyta – 8, Dinophyta – 7, Cryptophyta – 5. Флористический комплекс планктонной альгофлоры во все сезоны характеризовался как диатомово-хлорофитово-цианобактериальный. Степень общности видового состава планктонных альгофлор Псковского и Чудского озер была высокой (78,2 %). Общими для обеих акваторий являлись 145 видовых таксонов фитопланктона. Численность фитопланктона изменялась в широком диапазоне в зависимости от времени года и станции исследования: от 808,7 тыс. кл./л (май, станция 5) до 36,6 млн кл./л (октябрь, ст. 51), биомасса – от 343,9 мг/м³ (весна, ст. 51) до 11,3 г/м³ (август, ст. 52). Согласно эколого-географическому анализу в акватории озера преобладали широко распространенные, пресноводные, планктонные формы фитопланктона, предпочитающие слабощелочную реакцию воды. Средний индекс сапробности по Пантле и Букк в Псковском озере составил 1,87, в Чудском – 1,78, что свидетельствует об умеренном загрязнении акватории Чудско-Псковского озера (III класс качества).

Ключевые слова: фитопланктон, альгофлора, таксономический состав, численность, биомасса, мониторинг, качество воды, Чудско-Псковское озеро.

ВВЕДЕНИЕ

В результате мощного антропогенного воздействия на биосферу одной из актуальных проблем современности является загрязнение водных объектов (Arihilam, Arihilam, 2019; Vasyagina, Osipova, 2022). Особое место отводится альгофлористическим исследованиям на региональном уровне, способствующим процессу инвентаризации и сохранению растений.

Планктонные водоросли, лежащие в основе трофической пирамиды, являются первичными продуцентами органического вещества в водных объектах. Для оценки экологического состояния водоемов широко используют показатели развития фитопланктона. Численность, биомасса и таксономический состав микроводорослей отражают интенсивность биогенной нагрузки на водные объекты и широко используются в биоиндикационных исследованиях, которые дают интегральную оценку результатов всех протекающих в водоеме процессов (Барина и др., 2019). В силу высокой чувствительности к внешним воздействиям, фитопланктон служит удобным объектом в системе биомониторинга.

Озера как естественные водоемы играют важную роль в природе и являются уникальными объектами для исследования состояния окружающей среды (Дрозденко, 2018).

На территории Псковской области насчитывается более 3700 озер суммарной площадью 3261 км², из которых 2100 км² приходятся на долю Чудско-Псковского озера (64 %). Это крупнейший трансграничный водоем Европы (четвертое место по площади и пятое по объему), для которого характерна мелководность (средняя глубина 7,1 м), высокий уровень трофности и значительная для озер умеренной зоны промысловая рыбопродуктивность (30–40 кг/га) (Лесненко, 2002). Озеро характеризуется как мезогумусное, слабощелочное, эвтрофное, высокомутное, с хорошим насыщением воды кислородом (весной, летом и осенью), относится к типу условно чистых (Лозовик, Фрумин, 2018).

Фитопланктон открытой воды Чудско-Псковского озера состоит из порядка 500 видов, 70 % которых являются истинно планктонными. В планктоне преобладают цианобактерии, диатомеи, а также зеленые протококковые водоросли (Псковско-Чудское..., 2012).

Цель настоящей работы – оценить экологическое состояние и качество воды Чудско-Псковского озера по показателям фитопланктона в разные сезоны 2021 года.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, собранные в вегетационный период 2021 года в Чудско-Псковском водоеме.

Интегрированные пробы фитопланктона отбирались батометром Паталаса с постоянных станций: в мае и октябре с одиннадцати станций, в августе – с пяти (рис. 1).

Камеральная обработка, идентификация видов, количественный анализ фитопланктона проводились стандартными методами (Садчиков, 2003). Биомасса фитопланктона определялась методом подобия геометрических фигур (Радченко и др., 2010). К доминантным относились виды, численность которых составляла более 10 % от общей. Анализ сходства таксономического состава фитопланктонных сообществ проводился с использованием индекса Сьеренсена (Шмидт, 1980).

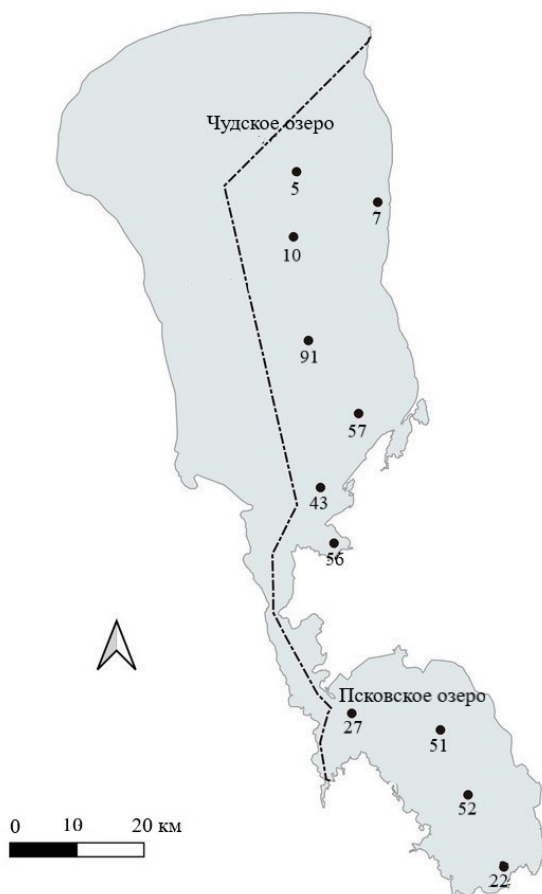


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб в Псковском и Чудском озерах

Для оценки качества воды озера рассчитывался индекс Пантле-Букк в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955). Класс качества вод устанавливался, основываясь на эколого-санитарной классификации (Оксинок и др., 1993).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Качественные и количественные показатели фитопланктона широко используются в оценке экологического состояния водоема, а также класса качества воды (Дрозденко, Волгушева, 2021).

В исследованной акватории Чудско-Псковского озера в 2021 году было идентифицировано 224 видовых и внутривидовых таксона фитопланктона из 8 отделов: Bacillariophyta – 83, Chlorophyta – 56, Cyanobacteria – 41, Ochrophyta – 15, Charophyta – 9, Euglenophyta – 8, Dinophyta – 7, Cryptophyta – 5.

В Псковском озере за весь период исследования выявлено 196 видовых таксонов фитопланктона, в Чудском – 179. Согласно индексу Сьеренсена степень общности видового состава планктонных альгофлор Псковского и Чудского озер была высокой и составляла 78,2 %. Общими для обеих акваторий являлись 145 видовых таксонов фитопланктона.

Весной в акватории Чудско-Псковского озера было зарегистрировано 176 таксонов микроводорослей рангом ниже рода (в Псковском озере – 132, в Чудском – 138) из 8 отделов (рис. 2). В зависимости от станции исследования количество видовых таксонов изменялось от 61 (ст. 5) до 87 (ст. 56). Летом обнаружено 134 видовых и внутривидовых таксона фитопланктона (в Псковском озере – 117, в Чудском – 90) из 8 отделов. Количество видовых таксонов в зависимости от станции исследования изменялось от 63 (ст. 27) до 90 (ст. 56). Осенью идентифицировано 144 видовых и внутривидовых таксона фитопланктона (в Псковском озере – 107, в Чудском – 112) также из 8 отделов. Число видовых таксонов варьировало в зависимости от станции исследования от 42 (ст. 10) до 68 (ст. 22).

Флористический комплекс планктонной альгофлоры озера во все сезоны составляли отдел Bacillariophyta, содержащий 35,8–38,9 % от общего количества видов, Chlorophyta – 25,7–29,1 % и Cyanobacteria – 14,8–20,1 %. Наиболее представительными родами диатомовых водорослей в мае были *Aulacoseira*, *Navicula* и *Nitzschia*, в летне-осенний период добавились *Cyclotella* и *Fragilaria*. Среди зеленых водорослей большим числом видовых таксонов отличались *Scenedesmus*, *Desmodesmus*, *Monoraphidium* и *Pediastrum*, цианобактерий – *Aphanocapsa* и *Chroococcus* в мае, *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Microcystis* в августе.

Микроводоросли остальных отделов заметный вклад в видовое разнообразие альгофлоры не вносили (рис. 2).

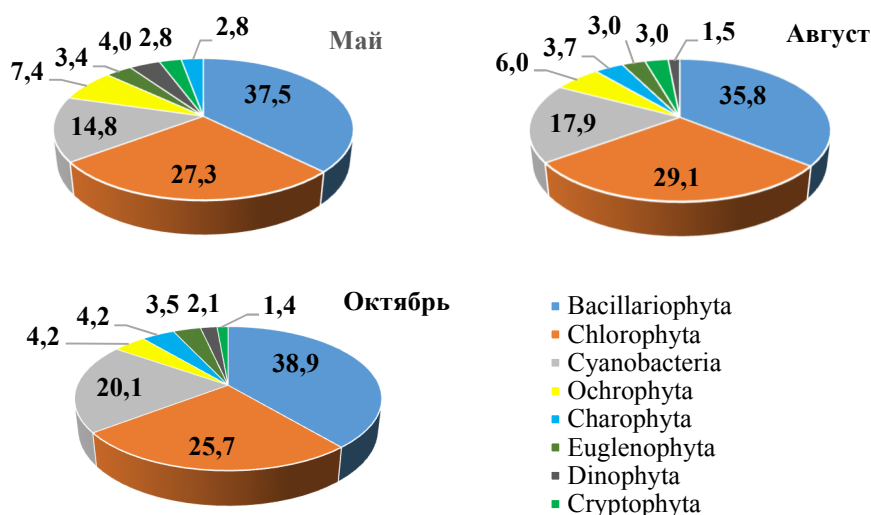


Рис. 2. Таксономический состав Чудско-Псковского озера, % (2021 г.)

Таким образом, флористический комплекс планктонной альгофлоры Чудско-Псковского озера в вегетационный период 2021 года характеризовался как диатомово-хлорофитово-

цианобактериальный, что сопоставимо с данными, полученными в 2020 году (Drozdenko et al., 2021).

Согласно количественному анализу весной численность фитопланктона изменялась от 808,7 тыс. кл./л на ст. 5 до 6,3 млн. кл./л на ст. 57. Средняя численность планктонных водорослей составила 2,1 млн. кл./л, что сопоставимо с данными 2020 года (в Псковском озере – 2,23 млн. кл./л, в Чудском – 2,05 млн. кл./л) (табл. 1).

Таблица 1

Численность фитопланктона в Чудско-Псковском озере (2021 г.)

№ станции	Численность фитопланктона, тыс. кл./л								
	Отделы водорослей								Итого
	Cyanobacteria	Euglenophyta	Ochromophyta	Charophyta	Bacillariophyta	Dinophyta	Cryptophyta	Chlorophyta	
Май									
22	120,4	8,7	213,0	-	904,4	-	30,4	282,6	1559,6
52	433,3	4,8	180,9	-	1857,1	4,8	9,5	442,9	2933,3
51	1637,2	4,7	74,4	-	186,1	-	27,9	251,2	2181,4
27	1266,7	-	33,3	-	541,7	-	20,8	366,7	2229,2
56	1065,2	-	47,8	4,4	747,8	-	4,4	565,2	2452,2
43	416,3	2,2	37,0	-	495,7	-	-	121,7	1094,6
57	5180,4	-	87,0	13,0	500,0	-	4,4	447,8	6250,0
91	219,9	2,8	48,2	-	493,6	-	-	232,6	1048,2
10	388,4	5,8	37,7	-	565,2	2,90	29,9	144,9	1197,1
5	521,7	3,5	43,5	-	186,1	-	5,2	38,3	808,7
7	884,9	-	6,1	-	457,6	3,03	9,1	142,4	1521,2
Среднее	1103,1±	3,0±	73,5±	1,6±	630,5±	1,0±	12,8±	276,0±	2116±
	1431,8	2,9	64,9	4,0	456,6	1,7	11,9	163,4	1526,1
Август									
22	2995,6	-	13,3	-	346,7	-	13,3	386,7	3755,6
52	4802,2	-	48,8	-	1793,0	7,0	13,9	620,9	7285,9
51	10187,2	-	8,5	-	2178,7	-	-	1174,5	13548,9
27	1447,8	13,0	-	-	1141,3	-	-	658,7	3260,9
56	8102,3	18,2	40,9	-	1027,3	-	9,1	745,5	9943,2
Среднее	5507,0±	6,2±	22,3±	-	1297,4±	1,4±	7,3±	717,2±	7558,9±
	3602,8	8,7	21,3	-	711,3	3,1	6,9	288	4317,9
Октябрь									
22	4368,0	-	96,0	-	584,0	-	-	552,0	5600,0
52	5184,0	-	48,0	8,0	2640,0	8,0	-	1256,0	9144,0
51	30698,0	16,0	40,0	8,0	4200,0	-	-	1592,0	36552,0
27	11056,0	8,0	16,0	-	1496,0	-	-	968,0	13544,0
56	3236,8	4,0	12,0	4,0	72,0	-	8,0	672,0	4008,0
43	14336,0	-	64,0	8,0	1176,0	-	-	264,0	15848,0
57	2266,7	-	25,0	-	175,0	-	20,8	158,3	2645,8
91	5052,2	-	4,4	-	265,2	-	-	500,0	5821,7
10	3621,5	-	60,2	-	292,5	-	-	279,6	4253,8
5	1850,0	-	-	-	270,8	-	8,3	337,5	2466,7
7	1770,2	-	51,06	-	370,2	4,3	4,3	604,3	2804,3
Среднее	4785,4±	2,5±	37,9±	2,5±	1049,2±	1,1±	3,8±	653,1±	9335,3±
	8625,3	5,1	29,5	3,7	1298,6	2,6	6,6	449,0	10079,7

Наибольший вклад в численность вносили цианобактерии. Их доля изменялась от 7,7 % на ст. 22 до 82,9 % на ст. 57. В среднем по всем станциям численность цианобактерий составляла 52,1 % от общей. Среди доминант, в зависимости от станций, отмечались представители родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Gomphosphaeria*, *Microcystis*, *Snowella*. Вклад в численность представителей отдела Bacillariophyta составил в среднем 29,8 %, Chlorophyta – 13,0 %. На остальные отделы микроводорослей приходился меньший процент.

Летом численность фитопланктона колебалась от 3,3 млн. кл./л на ст. 27 до 13,5 млн. кл./л на ст. 51. Средняя численность микроводорослей составила 7,6 млн. кл./л (в Псковском озере – 7,0 млн. кл./л, в Чудском – 9,9 млн. кл./л) (табл. 1). Максимальный вклад в численность, как и в весенний период, вносили цианобактерии, доля которых изменялось от 44,4 % на ст. 27 до 81,5 % на ст. 56. В среднем по всем станциям численность цианобактерий составляла 5,5 млн. кл./л (около 73 % от общей). В количественном отношении доминировали микроводоросли родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Microcystis*. Представители отдела Bacillariophyta в общей численности составили в среднем 17,2 %, а Chlorophyta – 9,5 %. Вклад микроводорослей из других отделов в общую численность был минимальным (табл. 1).

Численность осеннего фитопланктона изменялась от 2,5 млн. кл./л на ст. 5 до 36,5 млн. кл./л на ст. 51. Средняя численность составила 9,4 млн. кл./л (в Псковском озере – 16,2 млн. кл./л, в Чудском – 5,4 млн. кл./л). Наибольший вклад в численность, как и в предыдущие сезоны исследования, вносили цианобактерии. Их доля составляла 56,7–90,5 % в зависимости от станции. Максимальное содержание цианобактерий наблюдалось в Чудском озере на ст. 43. В среднем доля цианобактерий в планктонной альгофлоре в октябре оценивалось в 51,3 %. Наибольший вклад в численность вносили представители родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Microcystis*, как и в летний период. Содержание диатомовых водорослей в общей численности изменялось от 1,8 % на ст. 56 до 28,9 % на ст. 52. Количество зеленых водорослей варьировало от 1,7 % на ст. 43 до 21,5 % на ст. 7. Остальные отделы водорослей заметную роль в численности осенней альгофлоры озера не играли.

Биомасса весеннего фитопланктона варьировала от 343,9 мг/м³ на ст. 51 до 2,4 г/м³ на ст. 56. Средняя биомасса планктонных водорослей составляла 1,2 г/м³ (в Псковском озере – 1,2 г/м³, в Чудском – 1,2 г/м³) (табл. 2), что немногим выше, чем в мае предыдущего года, когда средняя биомасса фитопланктона составляла 0,9 г/м³ (в Псковском озере – 1,0 г/м³, в Чудском – 0,8 г/м³) (Drozdenco et al., 2021).

Наибольший вклад в биомассу вносили диатомовые водоросли: от 77,9 % на ст. 51 до 97,4 % на ст. 5. Доля диатомей в акватории в среднем составляла 92,6 % от общей биомассы. Среди них преобладали виды родов: *Aulacoseira*, *Cyclotella*. Представители отдела Chlorophyta в общей биомассе не превышали 4,0 %. Численно лидирующие в мае цианобактерии в биомассу летнего фитопланктона вносили не больше 5 % (табл. 2).

В августе биомасса фитопланктона изменялась от 1,3 г/м³ на ст. 22 до 11,3 г/м³ на ст. 52. Средняя биомасса планктонных водорослей составляла 6,1 г/м³, что в 1,7 раза выше, чем в августе 2020 года. Средняя биомасса в Псковском озере составила 7,0 г/м³, в Чудском – 2,9 г/м³. Основу биомассы составляли диатомовые водоросли: 90,5–96,0 % в зависимости от станции исследования. Средняя доля диатомовых в озере составила 94,2 % от общей биомассы. Среди диатомей значимую роль в биомассе играли виды родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, а также крупноклеточные водоросли из родов *Cymatopleura*, *Gyrosigma*, *Navicula*, *Surirella*. На представителей отдела Chlorophyta в общей биомассе приходилось 2,7 %, цианобактерий – 2,3 % (табл. 2).

Биомасса осеннего фитопланктона в исследованной акватории изменялась от 0,3 г/м³ на ст. 56 до 6,9 г/м³ на ст. 51. Средняя биомасса планктонных водорослей составляла 2,0 г/м³ (в Псковском озере – 3,4 г/м³, в Чудском – 1,1 г/м³). Основной вклад в биомассу вносили диатомовые водоросли: 20,0–94,8 % в зависимости от станции исследования. Средняя биомасса диатомей на исследованной акватории составила 84,2 % от общей биомассы. Наиболее яркую роль в биомассе играли виды родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, а также некоторые крупноклеточные виды из родов *Cymatopleura*, *Navicula*, *Rhopalodia*, *Surirella*. Представители Chlorophyta в общей биомассе в среднем составляли 5,5 %, цианобактерии – 9,2 % (табл. 2).

Расчеты количественных показателей за весь вегетационный период 2021 года показали, что средняя численность фитопланктона, равная 6,1 млн. кл./л, была в 1,5 раза ниже, чем в

2020 году, а значения средней биомассы ($2,4 \text{ г/м}^3$) оказались сопоставимы с прошлогодними данными. Средняя биомасса в акватории Псковского озера была $3,4 \text{ г/м}^3$ в 2020 году и $3,9 \text{ г/м}^3$ в 2021 году, а в Чудском – $1,6 \text{ г/м}^3$ в 2020 году и $1,3 \text{ г/м}^3$ в 2021 году (Drozdenko et al., 2021). Исходя из полученных данных видно, что при одинаковой биомассе численность клеток заметно различается. В данном случае можно судить о более крупных размерах клеток фитопланктона в 2021 году.

Таблица 2

Биомасса фитопланктона в Чудско-Псковском озере (2021 г.)

№ станции	Биомасса, мг/м ³								Итого
	Отделы водорослей								
	Cyanobacteria	Euglenophyta	Ochromytha	Charophyta	Vacillariophyta	Dinophyta	Cryptophyta	Chlorophyta	
Май									
22	14,1	12,3	79,9	-	804,5	-	5,8	28,4	944,4
52	7,0	4,8	70,6	-	2133,3	107,7	0,9	53,3	2375,5
51	17,1	4,6	14,4	-	268,1	-	2,5	37,2	343,9
27	27,4	-	2,2	-	1091,6	-	7,6	49,8	1178,6
56	1,6	-	3,1	10,3	2273,2	-	0,4	101,3	2390,5
43	4,3	2,6	5,9	-	785,4	-	-	13,4	812,3
57	14,7	-	10,9	11,6	628,3	-	3,5	40,1	709,6
91	7,5	2,8	5,0	-	643,6	-	-	57,7	718,2
10	6,0	5,8	12,5	-	1800,2	2,7	33,4	24,3	1885,5
5	3,9	3,5	2,3	-	766,9	-	4,9	5,7	787,6
7	0,7	-	0,4	-	1040,3	2,4	5,4	21,0	1070,8
Среднее	9,5±8,1	3,3±3,6	18,8± 28,3	2,0± 4,4	1112,3± 660,0	10,3± 32,2	5,9± 9,5	39,3± 26,4	1201,5± 698,4
Август									
22	45,0	-	1,2	-	1144,2	-	1,2	72,2	1263,8
52	112,4	-	19,9	-	10858,1	154,9	11,9	159,3	11316,4
51	390,2	-	12,8	-	10316,9	-	-	337,8	11057,7
27	97,8	18,0	-	-	4105,6	-	-	145,3	4366,7
56	67,0	18,0	16,5	-	2687,7	-	4,50	118,6	2912,4
Среднее	142,5± 140,9	7,2±9,9	10,1±9	-	5822,5± 4478,2	31,0± 69,3	3,5±5	166,7± 101,3	6183,4± 4698,6
Октябрь									
22	123,2	-	27,5	-	682,4	-	-	108,6	941,7
52	132,3	-	12,8	16,0	3035,1	4,8	-	143,7	3344,7
51	834,3	15,7	12,0	9,6	5734,6	-	-	278,2	6884,4
27	554,2	28,0	1,6	-	1813,0	-	-	144,6	2541,5
56	83,0	4,8	9,2	4,8	55,5	-	0,7	119,0	277,0
43	59,7	-	16,0	9,6	2474,5	-	-	51,4	2611,2
57	13,7	-	5,0	-	610,4	-	1,9	28,2	659,1
91	47,4	-	9,1	-	790,9	-	-	70,2	917,7
10	47,8	-	13,8	-	915,9	-	-	48,6	1026,0
5	13,5	-	-	-	943,1	-	3,7	70,5	1030,8
7	62,1	-	20,00	-	1008,9	3,4	0,4	124,4	1219,2
Среднее	179,2± 264,9	4,4±9,2	11,5± 8,0	3,6±5, 6	1642,2± 1614,2	0,7±1,7	0,6±1,2	107,9± 69,2	1950,3± 1893,7

Согласно экологической характеристике по отношению к местообитанию в Чудско-Псковском озере в 2021 году группа планктонных водорослей насчитывала 51,3 % от общего

числа микроводорослей. На группу планктонно-бентосных и донных организмов, представленных в основном диатомовыми водорослями, приходилось 28,1 % и 16,2 % соответственно. Обитатели обрастаний составляли 4,0 %.

По отношению к галобности более половины организмов являлись индифферентами (60,5 % от общего числа). На долю галофилов приходилось 8,8 %, галофобов – 2,6 %, олигогалобов – 3,1 %. Единично встречен мезаголоб – эвгленовая водоросль *Euglena viridis* (O.F.Müller) Ehrenberg. Почти у трети обнаруженных микроводорослей данных по отношению к солености не имелось.

По отношению к рН у большей части водорослей информации не было (54,0 %). На группу алкалифилов приходилось 27,2 %, индифферентов – 14,0 %, ацидофилов – 4,0 %, алкалибионтов – 0,9 %.

Стояче-текучие воды предпочитали 26,3 % микроводорослей, стоячие – 4,8 %, текучие – 1,3 %. Информации по отношению к реофильности не было у 67,5 % обнаруженных видов.

Географический анализ фитопланктона Чудско-Псковского озера показал, что большинство водорослей являлись космополитами (68,9 % от общего числа). Бореальные виды составляли 8,3 %, голарктические – 3,5 %, арктоальпийские и северо-альпийские – по 0,9 %, циркумбореальные и арктические – по 0,4 %. Данные по распространению не имели 16,7 % микроводорослей.

Для определения уровня органического загрязнения и степени антропогенной нагрузки на биогеоценозы Чудско-Псковского озера был проведен сапробиологический анализ. Большинство микроводорослей являлись бета-мезосапробионтами. Значения индексов сапробности по Пантле-Букк варьировали от 1,70 в октябре на ст. 43 до 2,20 в мае на ст. 91 и 7 (табл. 3). Это позволяет отнести воды озера к бета-мезосапробной зоне самоочищения, III классу качества чистоты вод.

Таблица 3

Величины индекса сапробности по отдельным станциям исследованных акваторий (2021 г.)

Станции исследования	Индекс сапробности		
	Май	Август	Октябрь
Псковское озеро			
22	2,11	1,88	1,81
52	2,17	1,90	1,93
51	2,16	1,77	1,88
27	2,10	1,96	1,84
Среднее	2,14±0,04	1,88±0,08	1,87±0,05
Чудское озеро			
56	2,09	1,81	1,89
43	2,05	-	1,70
57	2,09	-	1,74
91	2,20	-	1,73
10	1,98	-	1,71
5	1,87	-	1,84
7	2,20	-	1,88
Среднее	2,07±0,12	1,81	1,78±0,08

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам настоящего исследования в мае, августе и октябре 2021 года в Чудско-Псковском озере было идентифицировано 224 видовых и внутривидовых таксонов фитопланктона из 8 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Ochrophyta, Charophyta, Euglenophyta, Cryptophyta и Dinophyta. Флористический комплекс планктонной альгофлоры составляли диатомовые и зеленые водоросли, а также цианобактерии.

Средняя численность фитопланктона озера за весь период исследования составляла 6,1 млн. кл./л, средняя биомасса – 2,4 г/м³.

Исходя из данных эколого-географического анализа в акватории озера преобладали широко распространенные пресноводные формы микроводорослей, предпочитающие стояче-текучие слабощелочные воды. Воды акватории Чудско-Псковского озера относились к умеренно-загрязненным – III класс качества чистоты вод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 20-64-46018.

Список литературы

- Барина С. С., Белоус Е. П., Царенко П. М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. – Хайфа, Киев: Изд-во Университета Хайфы, 2019. – 367 с.
- Дрозденко Т. В. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водоема (на примере озера Барское, Псковская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т. 18, вып. 2. – С. 225–231. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231.
- Дрозденко Т. В., Волгушева А. А. Фитопланктон и качество воды озера Кучане (Псковская область, Россия) // Поволжский экологический журнал. – 2021. – № 3. – С. 251–261. DOI: 10.35885/1684-7318-2021-3-251-261.
- Лесненко В. К. Природные ресурсы Псковской области, их рациональное использование. – Псков: ПГПИ, 2002. – 136 с.
- Лозовик П. А., Фрумин Г. Т. Современное состояние и допустимые биогенные нагрузки на Псковско-Чудское озеро // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. – № 3. – С. 3–10. DOI: 10.17076/lim626.
- Оксинок О. П., Жукин В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–76.
- Псковско-Чудское озеро / [Ред. О. Паликова]. – Тарту: Eesti Loodusfoto, 2014. – 495 с.
- Радченко И. Г., Капков В. И., Федоров В. Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона: учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов. – М.: Мордвинцев, 2010. – 60 с.
- Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. – М.: Изд-во «Университет и школа», 2003. – 157 с.
- Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 176 с.
- Arihilar N. H., Arihilar E. C. Impact and control of anthropogenic pollution on the ecosystem // Journal of Bioscience and Biotechnology Discovery. – 2019. – Vol. 4 (3). – P. 54–59. DOI:10.31248/JBBD2019.098.
- Drozdenko T., Fedorov S., Kek I. Seasonal dynamics of phytoplankton and some hydrochemical indicators of the Peipsi-Pskov Lake // Environment. Technology. Resources: Proceeding of the 13th International Scientific and Practical Conference. June 17-18, 2021. – Rezekne: Rezekne Academy of Technologies. – 2021. – Vol. 1. – P. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.17770/etr2021vol1.6557>.
- Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserbach. – 1955. – Bd. 96 (18). – 604 p.
- Vasyagina T. N., Osipova N. V. Comparative analysis of anthropogenic impact on the environment in modern Russia // Agrarian History. – 2022. – N 10. – P. 63–69. DOI: 10.52270/27132447_2022_10_63.

Drozdenko T. V., Alexandrova S. M., Antal T. K. Phytoplankton and ecological state of the Peipsi-Pskov Lake // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 36–43.

In hydrobiological monitoring, phytoplankton studies are of great importance. Microalgae act as primary producers of organic matter, participate in the processes of self-purification of water bodies, react quickly to changes in the aquatic environment. The purpose of the work was to study the ecological state and water quality of the Peipsi-Pskov Lake according to phytoplankton indicators in different seasons of 2021. During the entire period, 224 species taxa of microalgae were identified (196 in Lake Pskov, 179 in Lake Peipsi) from 8 phylums: Bacillariophyta – 83, Chlorophyta – 56, Cyanobacteria – 41, Ochrophyta – 15, Charophyta – 9, Euglenophyta – 8, Dinophyta – 7, Cryptophyta – 5. The floral complex of planktonic algal flora in all seasons was characterized as diatom-chlorophytic-cyanobacterial. The degree of generality of the species composition of the planktonic algal flora of the Pskov and Peipsi Lakes was high (78.2%). 145 species taxa of phytoplankton were common to both water areas. Phytoplankton abundance varied in a wide range depending on the time of year and the research station: from 808.7 thousand cells/l (May, station 5) to 36.6 million cells/l (October, station 51), biomass – from 343.9 mg/m³ (spring, station 51) to 11.3 g/m³ (August, station 52). According to ecological and geographical analysis, widespread, freshwater, planktonic forms of phytoplankton predominated in the lake's water area, preferring a slightly alkaline reaction of water. The average saprobity index for Pantle and Bukk in Lake Pskov was 1.87, in Lake Peipsi – 1.78, which indicates moderate pollution of the water area of the Peipsi-Pskov Lake (III quality class).

Key words: phytoplankton, algal flora, taxonomic composition, abundance, biomass, monitoring, water quality, Peipsi-Pskov Lake.

*Поступила в редакцию 01.12.22
Принята к печати 15.02.23*

УДК 502.72:631.421(571.53/55)

Результаты мониторинга целлюлозолитической активности бурой горнолесной почвы хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье)

Ермакова О. Д.

*Байкальский государственный заповедник
Танхой, Россия
olerm@list.ru*

В результате почвенных исследований, проведённых на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан в 2009–2019 годах, получены сведения о динамике целлюлозолитической активности бурой горнолесной почвы. Использовался стандартный метод с применением «аппликаций». Сравнение по биотопам показало, что основным местом обитания для целлюлозоразлагающих микроорганизмов служит зона между лесной подстилкой и гумусовым горизонтом почвы. Именно здесь, под лесной подстилкой, во все сезоны года (зима, весна, лето, осень) зафиксированы самые высокие значения целлюлозолитической активности. Наивысшая активность микрофлоры во всех биотопах в течение безморозного периода года характерна для второй половины лета (август); самая низкая – на подстилке весной (июнь), а под подстилкой и в почве осенью (сентябрь). Посредством статистического анализа выявлено, что в наибольшей степени активность целлюлозоразлагающей микрофлоры в течение безморозного периода варьирует под подстилкой. Как показывает линейный тренд, к окончанию описываемого периода исследований за различные фенологические сезоны по биотопам прослеживается следующая тенденция развития интенсивности целлюлозоразлагающей микрофлоры (ЦА % распада ткани за сутки). Зимой она на подстилке и в почве остаётся без изменений, а под подстилкой обнаруживает несущественный рост; весной, в первой половине лета (июль) и осенью значительно возрастает во всех биотопах; во второй половине лета (август) во всех биотопах снижается. Корреляционный анализ подтверждает определённую зависимость целлюлозолитической активности от теплового фактора среды. Обнаружена тесная корреляционная связь между целлюлозолитической активностью и датами перехода пороговых температур воздуха (0, 10 °С).

Ключевые слова: целлюлозолитическая активность, Хамар-Дабан, статистический анализ, линейный тренд.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из задач заповедника – слежение за динамикой природных явлений и процессов, изучение структуры взаимодействия компонентов природного комплекса – не может быть решена в полной мере без познания свойств почвенного покрова. Почва является главным звеном наземных экосистем, поскольку в её эколого-генетических свойствах отражаются не только абиотические обменные процессы геосистемы, но также и функции всех компонентов биоты. В почвенных исследованиях значительное место отводится живой фазе почвы и в научной литературе есть мнение, согласно которому данная экологическая характеристика может использоваться в качестве уточняющих диагностических признаков почвы (Хутакова, 2007). Активность целлюлозолитических микроорганизмов, посредством которых осуществляется деструкция сложных полисахаридов (клетчатки, целлюлозы, гемицеллюлозы) является важным показателем минерализации органического вещества, а также плодородия почв и её экологического состояния (Экология..., 2006). Плановые исследования целлюлозолитической активности почвы на территории заповедника начались в 2005 году. В результате выяснилось, что целлюлозолитическая активность в значительной степени определяется структурой фитоценоза; разложение целлюлозы осуществляется энергичнее под лесными сообществами с менее кислым растительным опадом (Ермакова, 2006, 2009, 2012). К настоящему моменту интерес представляет вопрос о том, каким образом изменяется целлюлозолитическая активность почвы по фенологическим сезонам года и биотопам во времени. Многолетний фактический материал позволяет, используя метод статистического анализа, показать сезонную и годовую динамику целлюлозолитической

активности почвы, проследить направление её развития и выявить связь с тепловым фактором.

Цель работы – оценка динамики целлюлозолитической активности почвы в различных биотопах и определение её зависимости от теплового фактора на территории северного макросклона хребта Хамар-Дабан.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Мониторинг целлюлозолитической активности почвы проводился на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан (в пределах территории Байкальского заповедника) в 2009–2019 годах. По данным метеостанции «Танхой», средняя температура июля 14,7 °С, января – 17,0 °С. Средняя многолетняя сумма осадков около 900 мм в год.

Почвы района исследований, расположенного на высоте 500–600 м н. у. м., по сложению рыхлые; объёмный вес гумусовых горизонтов составляет 0,5–0,7 г / см³, в результате чего почвы высоковолагопроницаемые и не задерживают избыток влаги, что благоприятно для развития микробиологических процессов.

Постоянная пробная площадь заложена у подножья склона северо-восточной экспозиции; 557 м н. у. м.; на открытом участке леса (в лесном «окне»). Кедрово-берёзовый чернично-анемоновый лес. Состав древостоя: 7БЗК+П+Е. Преобладающая порода берёза. Значительна примесь кедра. Единично встречаются ель, пихта. В подлеске рябина. Обильно идёт возобновление пихты. Травяно-кустарничковый ярус высокий, густой, куртины черники чередуются с пятнами анемоны байкальской, папоротников, вейника; проективное покрытие 100 %; обычны брусника, майник двулистный, седмичник европейский, осоки, злаки. Моховой покров не обилен.

Почва: бурая горнолесная грубогумусная.

Для определения биологической активности почвы использовались косвенные «аппликационные» методы (Востров, Петрова, 1961; Терешенкова, Карчевская, 1982). В данном случае это были полоски определённого веса, нарезанные из отстиранной (для удаления крахмала) хлопчатобумажной ткани.

Образцы «аппликаций» прорабатывались в нескольких вариантах: а) помещались на подстилку (крепилась деревянными кольшками); б) закладывались горизонтально под подстилку; в) закладывались горизонтально под гумусовый горизонт.

Использовались данные метеостанции «Танхой».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наблюдений обработаны статистически согласно общепринятым рекомендациям (Кремер, 2002). Целлюлозолитическая активность (ЦА %) исчислялась путём деления процентного выражения потери в весе образцов за период экспонирования на количество дней экспонирования.

В табл. 1 представлена статистическая характеристика целлюлозолитической активности, проведённая по ежегодным средним статистическим значениям за ряд представленных лет (n=3–6). Данные сгруппированы и проанализированы по фенологическим сезонам года (зима, весна, лето осень).

Сравнение по биотопам, судя по средним значениям, показывает (табл. 1), что основным местом обитания для целлюлозоразлагающих микроорганизмов является зона между лесной подстилкой и гумусовым горизонтом почвы.

Под подстилкой во все сезоны отмечена самая высокая целлюлозолитическая активность; также идентичной она была в почве в июне и августе. Наивысшая активность микрофлоры во всех биотопах в течение безморозного периода года характерна для второй половины лета (август); самая низкая – на подстилке весной, а под подстилкой и в почве осенью (сентябрь).

Таблица 1

Статистические характеристики целлюлозолитической активности бурой горнолесной грубогумусной почвы по фенологическим сезонам года

Фенологический сезон	Биотоп	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	σ	V, %	$S_{\bar{x}}$
Потеря в весе «аппликаций» (%) за период исследований							
Зима n = 4	На подстилке	45,41	29,61	64,89	15,481	34,1	7,74
	Под подстилкой	78,75	53,97	89,65	16,691	21,2	8,34
	В почве	60,91	48,12	79,72	15,33	25,2	7,67
Целлюлозолитическая активность (% распада ткани за сутки)							
Зима n = 4	На подстилке	0,17	0,13	0,23	0,045	26,6	0,02
	Под подстилкой	0,29	0,23	0,34	0,046	15,8	0,02
	В почве	0,23	0,18	0,29	0,045	19,5	0,02
Потеря в весе «аппликаций» (%) за период исследований							
Весна (июнь) n = 4	На подстилке	12,00	2,32	23,21	9,013	75,1	4,51
	Под подстилкой	34,87	4,35	50,72	20,880	59,8	10,44
	В почве	34,95	5,45	49,86	20,173	57,7	10,08
Целлюлозолитическая активность (% распада ткани за сутки)							
Весна (июнь) n = 4	На подстилке	0,45	0,08	0,83	0,365	80,4	0,18
	Под подстилкой	1,29	0,14	2,15	0,889	68,8	0,44
	В почве	1,29	0,18	2,13	0,875	67,5	0,43
Потеря в весе «аппликаций» (%) за период исследований							
Лето (июль) n = 6	На подстилке	24,48	2,49	42,59	16,749	68,4	6,83
	Под подстилкой	59,94	16,67	83,33	23,387	39,0	9,54
	В почве	41,24	10,92	62,09	19,796	48,0	8,08
Целлюлозолитическая активность (% распада ткани за сутки)							
Лето (июль) n = 6	На подстилке	0,75	0,08	1,29	0,518	68,8	0,21
	Под подстилкой	1,84	0,55	2,35	0,676	36,7	0,27
	В почве	1,27	0,36	1,88	0,601	47,5	0,25
Потеря в весе «аппликаций» (%) за период исследований							
Лето (август) n = 5	На подстилке	34,14	26,43	49,29	9,881	28,9	4,42
	Под подстилкой	60,71	42,53	85,11	15,795	26,0	7,06
	В почве	60,68	48,65	84,29	14,536	23,9	6,50
Целлюлозолитическая активность (% распада ткани за сутки)							
Лето (август) n = 5	На подстилке	1,11	0,91	1,41	0,218	19,6	0,09
	Под подстилкой	1,98	1,47	2,43	0,357	18,08	0,16
	В почве	1,98	1,68	2,41	0,323	16,3	0,144
Потеря в весе «аппликаций» (%) за период исследований							
Осень (сентябрь) n = 3	На подстилке	14,80	0	27,97	14,057	94,9	8,12
	Под подстилкой	24,42	2,08	45,37	21,679	88,7	12,51
	В почве	19,85	0,91	31,00	16,485	83,0	9,52
Целлюлозолитическая активность (% распада ткани за сутки)							
Осень (сентябрь) n = 3	На подстилке	0,51	0	0,96	0,485	94,9	0,28
	Под подстилкой	0,85	0,10	1,56	0,731	85,7	0,42
	В почве	0,69	0,05	1,07	0,560	81,3	0,32

Примечание к таблице. \bar{X} – среднее арифметическое значение; X_{\min} – минимальное значение; X_{\max} – максимальное значение; σ – среднее квадратическое (стандартное) отклонение; V, % – коэффициент вариации; $S_{\bar{x}}$ – ошибка средней арифметической.

В таблице 2, для наглядности, скомпонованы статистические показатели, посредством которых измеряется степень вариации (R – вариационный размах; σ – среднее квадратическое отклонение) и степень изменчивости ($V\%$ – коэффициент вариации) статистических рядов. Размах вариации для данных по целлюлозолитической активности (ЦА % распада ткани за сутки) определялся по общепринятым рекомендациям (Лакин, 1980) как разность между максимальным и минимальным значением.

Таблица 2

Статистические параметры оценки степени вариации и изменчивости целлюлозолитической активности бурой горнолесной грубогумусной почвы по фенологическим сезонам года

Биотоп / статистические параметры	Доля распада ткани за сутки, %				
	Фенологические сезоны				
	Зима	Весна (VI)	Лето (VII)	Лето (VIII)	Осень (IX)
Вариационный размах (R)					
На подстилке	0,1	0,75	1,21	0,5	0,96
Под подстилкой	0,11	2,01	1,8	0,96	1,46
В почве	0,11	1,99	1,52	0,73	1,02
Среднее квадратическое отклонение (σ)					
На подстилке	0,045	0,365	0,518	0,218	0,485
Под подстилкой	0,046	0,889	0,676	0,357	0,731
В почве	0,045	0,875	0,601	0,323	0,560
Коэффициент вариации, % (V)					
На подстилке	26,6	80,4	68,8	19,6	94,9
Под подстилкой	15,8	68,8	36,7	18,1	85,7
В почве	19,5	67,5	47,5	16,3	81,3

Сравнение по биотопам показывает, что в наибольшей степени активность целлюлозоразлагающей микрофлоры в течение безморозного периода варьирует под подстилкой. В безморозное время года она наиболее высока в почве и под подстилкой весной (июнь), а на подстилке – в первой половине лета (июль). Вариабельность активности микрофлоры в зимний период по биотопам равнозначна, и, в сравнении с другими сезонами, самая минимальная.

Для оценки уровня изменчивости по коэффициенту вариации использовалась общепринятая шкала (Мамаев, 1972): меньше 7 % – очень низкий; 8–15 % – низкий; 16–25 % – средний; 26–35 % – повышенный; 36–50 % – высокий; более 50 % – очень высокий.

Очень высокий уровень изменчивости (67–95 %) целлюлозолитической активности (ЦА) характерен для всех биотопов в течение весеннего и осеннего сезонов; а также – для подстилки в первой половине лета (июль).

Высокому уровню изменчивости (37–48 %) соответствовала ЦА под подстилкой и в почве в первой половине лета (июль).

Средний уровень изменчивости ЦА (16–20 %) отмечен во всех биотопах во второй половине лета (август); а также – под подстилкой и в почве в морозный сезон. На подстилке в течение зимы уровень изменчивости ЦА градуируется как повышенный (27 %).

Судя по коэффициенту вариации, наиболее стабильные условия для жизнедеятельности целлюлозоразлагающей микрофлоры на протяжении всех фенологических сезонов года складываются под подстилкой и в почве.

В таблице 3 показана тенденция развития активности целлюлозоразлагающей микрофлоры за исследованные годы по фенологическим сезонам и биотопам.

Таблица 3

Показатели линейного тренда целлюлозолитической активности в различных биотопах (2009–2019 гг.)

Периоды экспонирования «аппликаций»	Сезон	Доля распада ткани за сутки, %		
		Место закладки «аппликаций»		
		На подстилке	Под подстилкой	В почве
13.10.2008–3.06.2009	Зима			
25.08.2015–6.06.2016				
29.08.2017–7.06.2018				
25.09.2018–14.06.2019		$-0,0005x+0,171$	$0,035x+0,208$	$-0,0026x+0,2362$
3.06.2009–10.07.2009	Весна			
30.05.2017–28.06.2017				
7.06.2018–4.07.2018				
14.06.2019–5.07.2019		$0,2206x-0,0978$	$0,4932x+0,0591$	$0,4956x+0,0571$
23.06.2014–22.07.2014	Лето (июль)			
19.06.2015–21.07.2015				
23.06.2016–27.07.2016				
28.06.2017–2.08.2017				
4.07.2018–31.07.2018				
5.07.2019–7.08.2019		$0,269x-0,188$	$0,2944x+0,8074$	$0,3001x+0,2167$
21.07.2015–25.08.2015	Лето (август)			
27.07.2016–26.08.2016				
2.08.2017–29.08.2017				
31.07.2018–28.08.2018				
7.08.2019–5.09.2019		$-0,1332x+1,5083$	$-0,2163x+2,6278$	$-0,0404x+2,103$
17.09.2009–7.10.2009	Осень (сентябрь)			
28.08.2018–25.09.2018				
5.09.2019–4.10.2019		$0,4823x-0,454$	$0,393x+0,0671$	$0,4535x-0,2178$

Как показывает линейный тренд (табл. 3), к окончанию описываемого периода исследований за различные фенологические сезоны по биотопам прослеживается следующая тенденция развития интенсивности целлюлозоразлагающей микрофлоры (ЦА % распада ткани за сутки):

- зимой на подстилке и в почве остаётся без изменений, а под подстилкой обнаруживает несущественный рост;

- весной, в первой половине лета (июль) и осенью значительно возрастает во всех биотопах;

- во второй половине лета (август) во всех биотопах снижается.

С течением времени зимой целлюлозолитическая активность практически не изменяется. Это объясняется тем, что в данный период биотопы изолированы от воздействия погодных факторов мощным снежным покровом, который создаёт для микрофлоры постоянство условий среды обитания.

Темпы целлюлозолитической активности в различные сезоны года в течение безморозного периода неоднородны, в связи с этим было интересно проследить её реакцию на тепловой фактор.

Данные табл. 4 показывают, что даты переходов эффективной (5 °С) и активной (10 °С) температур воздуха весной и летом обнаруживают тенденцию к более раннему началу, а осенью – к более позднему. Таким образом, очевидно, что со временем оптимальный для микрофлоры тепловой режим становится продолжительнее. Этим и обеспечивается увеличение скорости целлюлозолитической активности в июне, июле и сентябре к окончанию

периода исследований. Наличие тренда развития целлюлозолитической активности противоположной направленности в августе можно объяснить её зависимостью не только от климата. Тем более что этот месяц в регионе в тепловом отношении достаточно стабилен. По-видимому, это является следствием воздействия на микробиоценоз других факторов среды.

Таблица 4

Показатели линейного тренда дат перехода пороговых температур воздуха в 1971–2019 годах

№ п/п	Дата перехода пороговых температур воздуха / сезон / средняя многолетняя дата	Период	Показатели линейного тренда
1	Относительно регулярный переход максимальной температуры воздуха выше 0 °С / начало весны / 21 марта	1971–2019	-0,184x+25,29
		2009–2019	-1,545x+30,90
2	Относительно регулярный переход средней суточной температуры воздуха выше 5 °С / пёстрая весна / 5 мая	1981–2019	-0,108x+68,09
		2009–2019	-0,218x+65,03
3	Относительно регулярный переход средней суточной температуры воздуха выше 10 °С / предлетье / 2 июня	1981–2019	-0,137x+96,92
		2009–2019	-0,213x+94,80
4	Окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С / начало лета / 18 июня	1975–2019	-0,229x+115,6
		2009–2019	-0,881x+111,2
5	Относительно регулярный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С / разгар лета / 7 июля	1980–2019	-0,223x+129,4
		2009–2019	-1,236x+130,8
6	Относительно регулярный переход минимальной температуры воздуха ниже 10 °С / начало осени / 19 августа	1974–2019	0,213x+166,9
		2009–2019	0,045x+175,7
7	Окончательный переход минимальной температуры воздуха ниже 10 °С первоосень / 3 сентября	1974–2019	0,118x+183,9
		2009–2019	0,406x+185,8

Корреляционный анализ подтверждает определённую зависимость целлюлозолитической активности от теплового фактора. Между датой относительно регулярного перехода максимальной температуры воздуха выше 0 °С и целлюлозолитической активностью июня для всех биотопов обнаружена достоверная тесная обратная связь ($r=-0,83$). Это значит, что чем раньше осуществляется данный температурный переход, тем активнее в начале безморозного периода жизнедеятельность почвенных микроорганизмов.

Для активности целлюлаз на подстилке и под подстилкой в августе важным моментом является окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С. Между этими параметрами выявлена тесная обратная связь ($r=-0,96$); чем раньше установится летний тепловой режим, тем выше будет целлюлозолитическая активность во второй половине лета. Кроме того, для целлюлозолитической активности августа определена тесная прямая связь с переходами минимальной температуры воздуха: с относительно регулярным переходом минимальной температуры воздуха ниже 10 °С $r=0,92$ (под подстилкой); с окончательным переходом минимальной температуры воздуха ниже 10 °С $r=0,89$ (в почве). Таким образом, более поздний переход минимальной температуры воздуха ниже 10 °С способствует повышению активности целлюлозоразлагающей микрофлоры во второй половине летнего сезона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате почвенных исследований, проведённых на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан в 2009–2019 годах, получены сведения о динамике целлюлозолитической активности бурой горнолесной почвы. Сравнение по биотопам показало, что основным местом обитания для целлюлозоразлагающих микроорганизмов служит зона между лесной подстилкой и гумусовым горизонтом почвы. Эта тенденция характерна для всех сезонов года.

Наивысшая активность микрофлоры во всех биотопах в течение безморозного периода года характерна для второй половины лета (август); самая низкая – на подстилке весной (июнь), а под подстилкой и в почве осенью (сентябрь). Почвенной микрофлоре свойственна определённая особенность сезонного развития, которая определяется тепловым фактором среды. Об этом свидетельствует наличие достоверной тесной корреляционной связи между показателями целлюлозолитической активности и датами переходов пороговых (0, 5, 10 °С) температур воздуха. Датам переходов данных температур к окончанию периода исследований свойственна тенденция к более раннему началу весной и летом, а к более позднему – осенью. Таким образом, увеличение продолжительности благоприятного теплового режима обуславливает возрастание интенсивности почвенных биологических процессов.

Список литературы

Востров И. С., Петрова А. Н. Определение биологической активности почвы различными методами // Микробиология. – 1961. – XXX, вып. 4. – С. 665–673.

Ермакова О. Д. Целлюлозолитическая активность бурозёмов Байкальского заповедника (пихтовые фитоценозы) // Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации: Матер. Междунар. науч. конф. – Ростов н/Д: Ростиздат, 2006. – С. 190–194.

Ермакова О. Д. Целлюлозолитическая активность бурой лесной почвы под кедрово-берёзовым лесом (Южное Прибайкалье) // Проблемы экологии: чтения памяти проф. М. М. Кожова: тез. докл. междунар. науч. конф. и междунар. шк. для мол. учёных (Иркутск, 20–25 сентября 2010 г.). – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – С. 139.

Ермакова О. Д. Взаимосвязь целлюлозолитической активности бурозёмов с составом опада древостоев (хребет Хамар-Дабан; Южное Прибайкалье) // Современное состояние и перспективы развития особо охраняемых природных территорий республики Беларусь: матер. Междунар. науч.-практ. конф., Березинский биосферный заповедник, 4–26 сент. 2012 г. – Минск: Белорусский Дом печати, 2012. – С. 140–142.

Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2002. – 543 с.

Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.

Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. – М.: Наука, – 1972. – 283 с.

Терешенкова А. И., Карчевская Т. И. К вопросу о биологической активности серых лесных почв // Вестник ЛГУ. Биология. – 1982. – № 21, вып. 4. – С. 70–75.

Хутакова С. В. Гидроморфные почвы Байкальского региона: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.27 Почвоведение. – Удэ: ФГОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова», 2007. – 22 с.

Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации // Матер. Междунар. науч. конф. – Ростов н/Д: Ростиздат, 2006. – 563 с.

Ermakova O. D. Results of monitoring of cellulolytic activity of brown mountain forest soil of Khamar-Daban ridge (Southern Baikal region) // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 44–50.

Soil research was carried out on the northern macroslope of the Khamar-Daban ridge in 2009–2019. As a result, information was obtained on the dynamics of the cellulolytic activity of the brown mountain forest soil, both by biotopes and over time. The standard method using "applications" was used. The obtained data were processed by the statistical method. Comparison by biotopes showed that the main habitat for cellulose-decomposing microorganisms is the zone between the forest litter and the humus horizon of the soil. It is here, under the forest floor, that the highest values of cellulolytic activity are recorded in all seasons of the year (winter, spring, summer, autumn). The highest activity of microflora in all biotopes during the frost-free period of the year is typical for the second half of summer (August); the lowest is on the litter in spring (June), and under the litter and in the soil in autumn (September). Through statistical analysis, it was revealed that the activity of cellulose-decomposing microflora during the frost-free period varies to the greatest extent under the litter. As the linear trend shows, by the end of the described period of research for various phenological seasons, the biotopes show the following trend in the development of the intensity of cellulose-decomposing microflora (CA % of tissue decay per day). In winter, it remains unchanged on the litter and in the soil, and shows insignificant growth under the litter; in spring, in the first half of summer (July) and in autumn it increases significantly in all biotopes; in the second half of summer (August) it decreases in all biotopes. Correlation analysis confirms a certain dependence of cellulolytic activity on the thermal factor of the medium. A close correlation was found between cellulolytic activity and the dates of transition of threshold air temperatures (0, 10 °C).

Key words: cellulolytic activity, Khamar-Daban, statistical analysis, linear trend.

Поступила в редакцию 30.12.22

Принята к печати 18.01.23

УДК 59.087

Формирование регистраций животных на основе постобработки данных фотоловушек

Ефремов В. А., Зуев В. А., Леус А. В., Мангазеев Д. И., Радыш А. С., Холодник И. В.

Московский физико-технический институт

Москва, Россия

efremov.va@mipt.ru, zuev.va@phystech.edu, leus.av@mipt.ru, mangazeev.di@phystech.edu, radysh.as@phystech.edu, kholodnyak.iv@phystech.edu

В данной работе предлагается алгоритм, который позволяет автоматизировать процесс формирования регистраций животных, определения класса объекта, а также подсчета количества объектов внутри каждой регистрации. Представленный алгоритм базируется на основе постобработки данных, которые получены от ранее разработанного в лаборатории Московского физико-технического института программного обеспечения. В этом ПО реализован двухстадийный подход обработки данных, состоящий из детектирования объектов на фотографиях и их последующей классификации, нейронные сети для классификации можно обучать / дообучать под задачи конкретных особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Был поставлен и описан эксперимент, в котором с помощью данного алгоритма удалось достаточно точно сформировать регистрации, единственное, что не учитывает такой подход – идущих в одном направлении особей, с поочередным нахождением в кадре только одной из них, но в кадре всегда находится только одна из них. Алгоритм позволил правильно определить количество особей внутри регистрации в 95,96 % случаев. Ошибки в определении количества особей животных были связаны с тем, что детектор не заметил объекты, которые либо только начинают появляться в кадре, либо скрыты за кустами или деревьями. Также в ходе эксперимента было выявлено улучшение точности автоматической классификации объектов с 98,81 % до 99,97 %. Такое улучшение результата автоматической классификации стало возможно благодаря тому, что в данном алгоритме при определении класса рассматривается не одна фотография, а сразу серия снимков.

Ключевые слова: фотоловушка, регистрация, алгоритм, классификатор, детектор.

ВВЕДЕНИЕ

Все чаще в экологических исследованиях начинают использовать фотоловушки. С помощью них можно проводить учет фауны редких видов животных, мониторинговые исследования, изучение экологии, поведение животных и их ритм активности, а также определение численности и плотности популяционных групп. Данный подход актуален, так как это позволяет проводить исследования, не вмешиваясь в дикую природу. Более подробно о применении фотоловушек в исследовании можно прочитать в статье «Фотоловушки в мониторинге лесных млекопитающих и птиц» (Желтухин, Огурцов, 2018).

С ростом популярности фотоловушек, увеличивается и их среднее число в одном исследовании. А следовательно, растут и объемы получаемых данных, и пользователь сталкивается с проблемой обработки огромного количества файлов. Из-за большого объема и постоянного обновления данных, часть из них может остаться неучтенной, также ручная работа с большими объемами данными неизбежно приводит к ошибкам в их обработке. Следовательно, можно сделать вывод, что нужно автоматизировать часть проводимых в исследованиях процессов.

Цель настоящих исследований – автоматизировать процессы формирования регистраций животных, полученных с помощью фотоловушек, обеспечить определение класса и количества объектов внутри регистрации и тем самым значительно ускорить обработку больших массивов данных наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ существующих решений. После того, как был сделан вывод, что нужно автоматизировать процессы анализа жизнедеятельности животных, было принято решение проанализировать, какое ПО для данной задачи уже существует на данный момент. Среди программ, позволяющих обрабатывать данные с фотоловушек, наиболее актуальны следующие: PhotoSpread (Sean Kandel et al., 2015), Camera Trap Manager (Zaragozí et al., 2015), Aardwolf (Krishnappa, Turner, 2014), Camera Base (Tobler, 2015), BuckView Advanced (BuckView TM Advanced User Guide, 2010), MapView Professional (MapView TM Professional User Guide, 2010), DeskTEAM (Fegraus et al., 2011), Camelot (Hendry, Mann, 2017), ZSL Camera Trap Analysis Package (Amin, Wachter, 2017).

Характеристика рассмотренных программ представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик рассмотренных программ

Программа	Поддержка камер	Интеграция с ГИС	Наличие группировщика	Формат экспорта
PhotoSpread	Все модели	Нет	Нет	CSV
Camera Trap Manager	Все модели	Только геопривязка локаций	Нет	CSV, SHP, и др.
Aardwolf	Все модели	Полная интеграция	Есть	CSV
Camera Base	Все модели	Только экспорт в shp	Есть пакетная обработка изображений	CSV, SHP, и др.
BuckView Advanced	Reconyx	Google maps	Нет	Нет
MapView Professional	Reconyx	Google maps	Нет	CSV
DeskTEAM	Только те, которые входят в проект TEAM Network	Нет	Есть	Нет
Camelot	Все модели	Нет	Нет	CSV
ZSL CTAP	Все модели	Полная интеграция	Нет	CSV, XLS, XML, DOC, HTM, TAB, JSON

Наличие группировщика, который позволяет по EXIF информации группировать изображения, близкие по времени, а затем протегировать их необходимыми данными о количестве и классе объектов – это наиболее близкий механизм, к формированию регистрации, который имеют некоторые из рассмотренных программ. Таким образом, данные программы являются полезными для проведения исследований, но они не способны автоматически искать животных, выделять их, анализировать данные. Этот базовый функционал систем технического зрения в программных продуктах отсутствует. Более подробный обзор этих программ можно увидеть в статье «Обзор программного обеспечения для обработки и анализа данных с фотоловушек» (Огурцов, 2019).

Регистрации. В каждой из рассмотренных программ для формирования отчетов по регистрациям животных требуется проведение большого количества ручной работы, включающей классификацию объектов, подсчет количества объектов и проч. Тегирование изображений – это один из самых долгих процессов исследования. И так как понятие регистрации животных имеет большое значение для дальнейших исследований, хотелось бы автоматизировать данный процесс, чтобы ускорить исследования и уменьшить фактор человеческой ошибки. В лаборатории МФТИ было разработано программное обеспечение

(Леус, Ефремов, 2021), в котором реализован двухстадийный подход обработки данных, состоящий из детектирования объектов на фотографиях и их последующей классификации. Данное ПО состоит из серверной и пользовательской частей. Серверная часть позволяет обучать детектор и классификатор. Пользовательская часть состоит из двух модулей, первый из которых позволяет налаживать процесс дообучения/обучения нейронных сетей для классификации объектов под конкретный ООПТ, а второй – автоматически обрабатывать фото- и видеоданные, поступающие с фотоловушек, при помощи обученных нейронных сетей. Для увеличения точности дальнейшей обработки данных было принято решение автоматизировать также создание регистраций, определения класса внутри регистрации и подсчет количества особей в регистрациях.

Формирование регистраций. На выходе классификатора формируется CSV таблица (табл. 2).

Таблица 2

Фрагмент таблицы, которая получается на выходе классификатора

Name_folder	Date_registration	Class	Relevance	All_relevances
C:\Users\Desktop\registration\L35	2021-01-21 17:23:39	People	0.932	{'Beaver': 0.00633, 'Bison': 0.00564, 'Moose': 0.00491, 'People': 0.932}
C:\Users\Desktop\registration\L35	2021-01-28 10:34:20	Moose	0.867	{'Beaver': 0.00633, 'People': 0.00532, 'Bison': 0.00564, 'Moose': 0.867}
C:\Users\Desktop\registration\L37	2021-02-10 13:45:52	Beaver	0.975	{'People': 0.00633, 'Bison': 0.00564, 'Moose': 0.00491, 'Beaver': 0.975}

Её столбцы, в частности, содержат следующую информацию:

name_folder – наименование папки с фотографиями, в каждой папке лежат фотографии с разных фотоловушек. Это позволяет учитывать местоположение при формировании регистраций;

date_registration – информация о времени и дате сделанного фото;

class – класс объекта;

relevance – вероятность классификатора для класса, указанного в столбце class;

all_relevances – все вероятности классификатора;

Важным условием работы данного алгоритма является то, что данные с разных фотоловушек должны лежать в различных папках, то есть иметь разные значения в столбце name_folder. Таким образом, это позволяет наиболее простым способом достичь необходимого параметра геопривязки изображений.

Для того, чтобы описать, как формируются регистрации, для начала определим, что понимается под одной регистрацией. Одной регистрацией считаются все зависимые наблюдения. Наблюдения считаются зависимыми, если они сделаны в одной локации, на них одинаковый класс объектов, а также между двумя наблюдениями прошло время не большее порогового, которое по умолчанию равняется 30 минут.

Опишем последовательность действий, благодаря которой формируются регистрации:

1. Считываем файл с информацией по классификации.
2. Сортируем записи по столбцам name_folder и date_registration, то есть по локации и по дате.
3. В таблице встречался класс Empty, это означает, что детектор нашел объект на фотографии, но классификатор определил данное срабатывание детектора как ложное. Данные строки являются неинформативными, поэтому их убираем из таблицы.
4. Находим разницу по времени между соседними строками таблицы.

5. Составляем предварительные регистрации.

6. Окончательные регистрации.

Далее опишем алгоритм составления предварительных и окончательных регистраций.

Составление предварительных регистраций можно описать следующей блок-схемой (рис. 1).

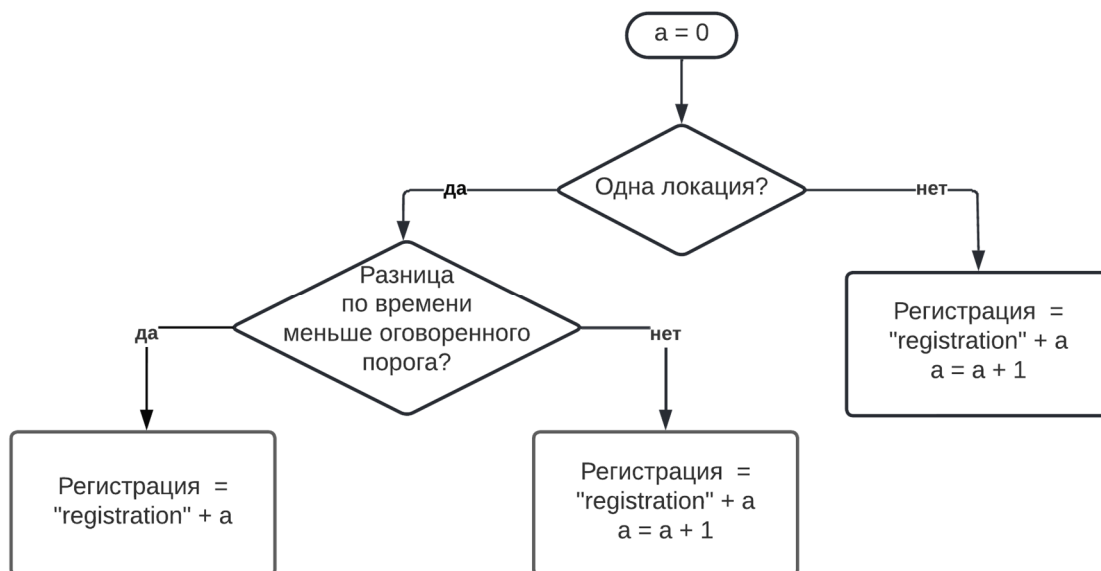


Рис. 1. Алгоритм создания предварительных регистраций

После этого происходит окончательное формирование регистраций.

После составления предварительных регистраций происходило тестирование алгоритма на реальных данных, и были замечены случаи, когда в одну регистрацию попадали два животных с временем между ними меньшим, чем указанный порог по времени. При этом классификатор каждого из них определял с вероятностью больше 80 %.

Было принято решение разделить такие регистрации по следующим условиям:

1. В регистрации более одного класса.
2. Каждый из них повторяется не менее двух раз подряд.
3. Вероятность их классификации не менее 80 %.
4. Время между появлением объектов разных классов более чем T/2 (15 мин).

Таким образом нам удалось избавиться от ошибки попадания объектов разных классов в одну регистрацию.

Определение класса регистрации. Следующим этапом стало определение класса внутри регистрации. Для этого нам понадобился столбец `all_relevances`, который содержит в себе вероятности для каждого класса. Алгоритм определения класса заключается в следующем:

1. Группируем наблюдения по составленным регистрациям.
2. Для каждой регистрации находится среднее арифметическое значение вероятности каждого класса (данные столбца `all_relevances`).
3. Класс, имеющий самую большую сумму вероятностей, будем считать классом регистрации

$$registrationclass = \operatorname{argmax} \left(\frac{\sum_{class}^n relevance}{n} \right),$$

где n_{class} – количество вхождений класса в регистрацию.

Таким образом у нас получилось сформировать регистрации и узнать, какой объект находится на изображениях внутри этой регистрации.

Определение количества объектов внутри регистрации. Следующим этапом стало определение количества объектов в регистрации. Для этого понадобилась таблица, в которой содержалась совместная информация по детекции и классификации объектов на изображении. Такая таблица существует отдельно для каждой фотоловушки. Отличие данной таблицы заключается в том, что если на изображение было найдено более одного объекта, то количество строчек, в которых содержалась информация о данной фотографии, становилось равным количеству объектов на фотографии. Также для каждого объекта на изображении есть информация о его классе. Благодаря этой информации можно найти количество объектов внутри регистрации. Таблица (табл. 3) имеет следующий вид.

Таблица 3

Фрагмент таблицы, где отображаются совместные данные детектора и классификатора

Id	Center	Class	Bbox
IMAG0007.JPG	839.50 460.00	People	640 36 2046 1435
IMAG0007.JPG	438.50 457.00	People	8 32 1395 1430
IMAG0008.JPG	1007.50 460.00	Hare	1182 25 2041 1446
IMAG0008.JPG	781.00 436.50	Beaver	552 0 1947 1396
IMAG0008.JPG	439.50 436.00	Hare	3 3 1403 1392

Алгоритм подсчета количества особей внутри регистрации:

1. Считываем нужную таблицу из всех папок, по которым у нас запущен процесс регистрации.
2. Внутри каждой таблицы производим группировку по столбцам, содержащим название фотографии и класс объектов (id, class в табл. 3).
3. Подсчитываем количество строк таблицы внутри каждой группы.
4. Благодаря столбцам, содержащим название фотографии (name_folder в табл. 2 и id в табл. 3), переносим информацию о количестве объектов в получившуюся до этого таблицу с регистрациями.
5. Теперь внутри каждой регистрации у нас есть некоторое количество фотографий, и для каждой у нас есть предположительное число объектов на ней. Чтобы определить количество объектов внутри регистрации, производим группировку по регистрациям и находим максимальное число объектов для каждой из них. Данное число и будем считать количеством объектов внутри регистрации.

На выходе данного алгоритма получаем полностью автоматически сгенерированный отчет по регистрациям в виде CSV таблицы, похожей на изначальную таблицу (табл. 2), но с добавленными столбцами, в которых содержатся номер регистрации, класс регистрации и количество объектов внутри регистрации.

Эксперимент. Рассмотрим результаты тестирования данного алгоритма на 3014 фотографиях, сделанных с 5 различных фотоловушек в одном заповеднике. Эксперимент проводился на компьютере с ОС Windows 10 и видеокартой NVIDIA GeForce RTX 2070. Предварительно данные были обработаны с помощью ПО, позволяющим детектировать и классифицировать объекты (Леус, Ефремов, 2021). Далее с помощью описанного алгоритма было сформировано 149 регистраций за 0,59 секунд. Просмотрев фотографии, и сверяя просмотры с полученными с помощью использованного алгоритма данными можно сделать следующие выводы.

Формирование регистраций. Данный подход позволил достаточно точно сформировать регистрации, единственное, что нельзя учесть благодаря ему – последовательно идущих в одном направлении особей, с поочередным нахождением в кадре только одной из них.



Рис. 2. Пример, когда две особи одного класса, идущие друг за другом, попали в одну регистрацию. Первая особь выходит из кадра (a), вторая заходит (b).



Рис. 3. Пример изображения, где сложно определить количество особей в кадре. Первый кабан почти вышел из кадра и детектор его не заметил.

Определение класса объекта. При формировании классов регистраций было выявлено 36 различий с классом, который предлагает нейросетевой классификатор. Из этих 36 случаев был

выявлен 1, когда класс не был правильно определен ни классификатором, ни алгоритмом, формирующем регистрации, такое возникло из-за того, что найденное животное оказалось домашним и не входило в список классов. Во всех остальных 35 случаях правильным классом оказался класс регистрации. Просмотрев все остальные фотографии, участвующие в эксперименте, мы убедились, что класс определен верно. Таким образом, подход, который для определения класса учитывает не одну фотографию, а сразу серия снимков, позволил увеличить точность классификации с 98,8 % до 99,9 %.

Определение количества особей в регистрации. При просмотре фотографий было выявлено ошибочное количество особей в регистрации в 16 случаях из 149. Основное количество этих ошибок, а именно 12 из 16, связаны с классом People и тем, что человек подходил слишком близко к камере, в результате чего детектор видел большее количество объектов, чем их было в кадре на самом деле. Все остальные ошибки связаны с тем, что детектор не заметил объекты, которые только начинают появляться в кадре, скрыты за кустами или деревьями. Таким образом получилось точно определить количество объектов в регистрации в 89,26 % случаях. Зачастую регистрации с людьми не используются в исследованиях, поэтому можно исключить регистрации с классом People. Тогда точность определения количества животных в регистрациях становится равна 95,96 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании рассматривалось большое количество программ, которые могут помочь в проведении исследований животных с использованием фотоловушек. Тем не менее, каждая из программ требует выполнения большого количества действий, которые в настоящее время можно эффективно заменить алгоритмами технического зрения и постобработкой больших объемов данных. В статье был предложен возможный алгоритм формирования регистраций, определения класса регистрации, а также подсчет особей вида внутри одной регистрации, которые могут помочь в подсчете особей в популяции. С помощью данного метода можно достаточно быстро обработать большое количество данных, получаемых с фотоловушек. Так по 3014 изображениям получилось сформировать 149 регистраций за 0,59 секунд. Рассмотренный подход к автоматизации формирования регистраций позволил улучшить данные полученные при автоматической классификации животных с 98,81 % до 99,97 %, также в 95,96 % случаев было правильно определено количество особей внутри регистрации. Таким образом данный алгоритм способен ускорить проведение анализа по суточной или сезонной активности животных, и их плотности населения. Если территория заповедников имеет равномерный охват фотоловушками, то данные регистрации смогут дать более точные и цельные представление о фауне места исследования.

Список литературы

- Желтухин А. С., Огурцов С. С. Фотоловушки в мониторинге лесных млекопитающих и птиц. – Тверь: Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник; Полипресс. – 2018. – 52 с.
- Леус А. В., Ефремов В. А. Применение методов компьютерного зрения для анализа изображений, собранных с фотоловушек в рамках программно-аппаратного комплекса мониторинга состояния окружающей среды на особо охраняемых природных территориях //Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. – 2021. – Вып. 28. – С. 121–129.
- Огурцов С. С. Обзор программного обеспечения для обработки и анализа данных с фотоловушек: последние новинки, работа с видео и ГИС // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2019. – Т. 4, № 2. – С. 95–124.
- Amin R., Wachter T. A new comprehensive package for the management and analysis of camera trap data for monitoring antelopes and other wild species //Gnusletter. – 2017. – Vol. 34 (2). – P. 21–23.
- BuckView TM Advanced User Guide [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <https://www.reconyx.com/img/file/BuckViewUserGuide.pdf>
- Fegraus E. H., Lin K., Ahumada J. A., Baru C., Chandra S., Youn C. 2011. Data acquisition and management software for camera trap data: a case study from the TEAM Network // Ecological Informatics. – Vol. 6. – P. 345–353.
- Hendry H., Mann C. Camelot – Intuitive software for camera-trap data management // Oryx. – 2018. – Vol. 52 (1). – P. 15–15. DOI: 0.1017/S0030605317001818.

Kandel S., Abelson E.S., Garcia-Molina H., Paepcke A., Theobald M.M. PhotoSpread: A Spreadsheet for Managing Photos // Conference on Human Factors in Computing Systems. New York. – 2015. – P. 1749–1758.

Krishnappa Y.S., Turner W.C. Software for minimalistic data management in large camera trap studies // Ecological Informatics. – 2014. – Vol. 24. – P. 11–16.

MapView™ Professional User Guide [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <https://www.reconyx.com/img/file/MapViewUserGuide.pdf>.

Tobler M. Camera Base. Version 1.7. User Guide. – 2015. – 38 p.

Zaragozí B., Belda A., Giménez P., Navarro J.T., Bonet A. Advances in camera-trap data management tools: Towards collaborative development and integration with GIS // Ecological Informatics. – 2015. – Vol. 30. – P. 6–11.

Efremov V. A., Zuev V. A., Leus A. V., Mangazeev D. I., Radysh A. S., Kholodnyak I. V. Formation of animal registrations based on post-processing of data from camera traps // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 51–58.

The paper proposes an algorithm that allows to automate the process of forming animal registrations, determining the class of an object, as well as counting the number of objects within each registration. The presented algorithm is based on the post-processing of data obtained from software previously developed in the laboratory of the Moscow Institute of Physics and Technology. This software implements a two-stage approach to data processing, consisting of detecting objects in photographs and their subsequent classification, neural networks for classification can be trained /retrained for a specific reserve. An experiment was conducted in which, using this algorithm, it was possible to form registrations accurately enough. The only thing that this approach does not take into account is when two individuals of an animal go in the same direction one after the other, but only one of them is always in the frame. The algorithm allowed to correctly determine the number of individuals within the registration in 95.96% of cases. Errors in determining the number of animals were due to the fact that the detector did not notice objects that either are just beginning to appear in the frame, or are poorly visible behind bushes or trees. The experiment also revealed an improvement in the accuracy of automatic classification of objects from 98.81 % to 99.97 %. Such an improvement in the result of automatic classification became possible due to the fact that in this determining class algorithm not one photo is considered, but series of pictures at once.

Key words: camera trap, registration, algorithm, classifier, detector.

Поступила в редакцию 30.12.22

Принята к печати 18.01.23

УДК 639.1.091; 619:616.9-022.39

Роль ранних стадий послерубочных сукцессий в поддержании природных очагов лептоспироза в центральной части Каспийско-Балтийского водораздела

*Истомин А. В.^{1,2}*¹ Псковский государственный университет
Псков, Россия² Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник
Тверская область, Россия
c.gl@mail.ru

В работе рассматривается роль ранних стадий (2–7 лет) сукцессии еловых лесов после сплошных рубок в формировании природных очагов лептоспироза. Многолетние исследования проведены в Центрально-Лесном биосферном заповеднике и на прилегающей к нему территории. Определение антител к лептоспирам было выполнено в Национальном исследовательском центре эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи. Общий объем материала – 4290 экземпляров мелких млекопитающих различных видов. В данном регионе существует активный лесной природный очаг лептоспироза. Наибольшее значение в поддержании лесного очага имеют неморальные ельники. Основным носителем возбудителя лептоспироза – *Myodes glareolus*, (Schreber, 1780), которая является абсолютным доминантом в лесных экосистемах. Преобладают лептоспиры *Grippytyphosa*. Показано, что эпизоотии на вырубках имеют свою специфику. Мелкие млекопитающие очень быстро заселяют вырубленные участки. Формируются полидоминантные сообщества грызунов с быстрой сменой доминирования между потенциальными носителями инфекции (*M. glareolus*; *Microtus oeconomus*, Pallas, 1776; *Pitymys subterraneus*, de Selys-Longchamps, 1836; *Microtus agrestis*, Linnaeus, 1761). Рассматриваются особенности сезонной динамики численности и характер расселения доминирующих видов на ранних стадиях сукцессии. Для «климаксного» вида *M. glareolus* характерна иммиграция, для «пионерного» вида *M. oeconomus* – эмиграция. Колонизационный цикл *M. oeconomus* реализуется в течение 5–7 лет. Обсуждается значение процессов расселения в развитии эпизоотии. Только на вырубке отмечены грызуны разных видов с антителами к лептоспире *Hebdomadis*.

Ключевые слова: природно-очаговые инфекции, зоонозы, эпизоотии, лептоспирозы, Каспийско-Балтийский водораздел, послерубочные сукцессии, мелкие млекопитающие.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих регионах лесной зоны европейской части России основной формой антропогенной трансформации ландшафтов являются промышленные рубки, в результате которых на обширных территориях формируются разновозрастные серийные экосистемы со специфической средой. В связи с этим весьма существенные перестройки происходят в зооценозах, что необходимо учитывать при оценке воздействия антропогенной трансформации на биоту данных регионов, в том числе и с точки зрения формирования и поддержания очагов природных инфекций.

В лесной зоне довольно широко распространены лептоспирозы – острые инфекционные заболевания, поражающие животных и человека. Возбудители лептоспирозов – бактерии, относящиеся к роду *Leptospira*. Идентифицированные к настоящему моменту патогенные лептоспиры отнесены к 25 серологическим группам, 250 сероварам и 20 таксономическим видам. Для человека, попадающего на территорию с повышенной эпизоотичностью, опасность заражения чрезвычайно высока, поэтому регулярно в периоды активизации очагов возникают эпидемии среди населения. Основными носителями инфекции являются мышевидные грызуны, которые на первоначальном этапе заражения испытывают определенный физиологический дискомфорт. У перенесших болезнь зверьков возникает стойкий иммунитет. К настоящему времени досконально изучены очаги лептоспироза приозерных котловин и приречных заболоченных лугов. Имеются данные о лептоспирозах

сильно нарушенных ландшафтов лесной зоны, где поля и луга чередуются с остатками лесов. Эпизоотическое значение лесных ландшафтов до сих пор изучено слабо. Ранее нами приводились материалы исследований типичных лесных очагов, формирующихся в крупных коренных и малотрансформированных массивах лесов центральной части Каспийско-Балтийского водораздела (Карулин и др., 1993; Истомин и др., 1999; Истомин 2001, 2005, 2007, 2008).

Цель данной работы – дать характеристику и оценить роль ранних стадий сукцессии еловых лесов после сплошных рубок в поддержании природных очагов лептоспироза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Полевой этап исследования выполнялся на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника и его охранный зоны (Тверская область) в 1989–1996 годы. Заповедник располагается в малонаселенной, слабо освоенной и наиболее лесистой центральной части водораздела Волги и Западной Двины и является эталоном естественных процессов южно-таежных экосистем Русской равнины. Основной формой антропогенных нарушений на территориях, окружающих заповедник, являются сплошные рубки.

Изучали сообщества мелких млекопитающих и степень их инфицирования лептоспирозом на ранних стадиях зарастания сплошных вырубок, произведенных на месте неморальных ельников с различными по интенсивности и способам послерубочного ухода. Рубки, как правило, проводились зимой. После их завершения осуществлялась расчистка вырубленных участков. При этом порубочные остатки обычно собирались в валы на расстоянии 15–20 метров друг от друга. Затем нарезались посадочно-мелиоративные каналы, в отвалы борозд которых высаживались трехлетние ели. На отдельных участках нарушенность исходных почвенного и растительного покровов сплошных вырубок достаточно высокая. Оставшиеся пни, валы из порубочных остатков, посадочно-мелиоративные каналы формируют сложный микрорельеф. Почвенный покров вырубок ельников представляет собой комплекс контрастных комбинаций, в том числе и техногенного происхождения (Уланова, Тощева, 1989). Флористическое богатство «открытых» вырубок значительно выше исходных лесных фитоценозов (Уланова, 2007). В первые годы зарастания на сильно преобразованных участках в основном формируются ситниково-вейниковые и малиново-кипрейные ассоциации. В менее нарушенных участках возле оставшихся пней сохраняется травяно-кустарничковый ярус, свойственный исходным неморальным ельникам. После 5–6 лет активно развивается пневая и семенная поросль из лиственных пород деревьев, которые начинают выходить из яруса трав.

На участках сплошных вырубок травянистой стадии возобновления проводили стандартные учеты численности мелких млекопитающих в весенне-осенние сезоны года и осуществляли отбор бактериологических проб. Определение антител к лептоспирам в реакции микроагглютинации было выполнено в Институте эпидемиологии и микробиологии РАМН (в настоящее время – Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи Минздрава России).

Более подробно характер сбора материала и методы исследований развития эпизоотии лептоспироза подробно изложены нами ранее (Истомин, 2001, 2005, 2007). Общий объем проанализированного по лептоспирозам материала составил 4290 экземпляров мелких млекопитающих. Эпидемическую опасность территорий обычно определяют с учетом целого комплекса характеристик: особенностей структуры и динамики гильдий мелких млекопитающих, как основных носителей инфекции, степени инфицированности животных разных видов, общей численности основных носителей, численности инфицированных особей, показателей титров антител в пораженных зверьках. Практически все эти параметры были учтены и в нашем исследовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сообщества грызунов в еловых лесах неморальной структуры характеризуются высокой степенью монодоминирования рыжей полевки (*Myodes glareolus*, Schreber, 1780), на долю которой в составе гильдий в разные годы приходится от 88 до 98 % (табл. 1). В таблице представлены значения среднегодовалых (1980–2006 гг.) соотношений видов мышевидных грызунов в эталонных неморальных ельниках с учетом их удаленности от трансформированных территорий (ядро – удаленные от антропогенных территорий участки заповедника; буфер – пограничные участки заповедника с удалением не более 1 км от антропогенных территорий).

Таблица 1

Среднегодовалое (1980–2006 гг.) соотношение видов (в %) и показатели разнообразия сообществ мышевидных грызунов на ранних стадиях сплошных вырубок

Виды	Биоценоз		
	Вырубки 2–7 лет, %	Ельники «заповедного ядра» ЦЛГПБЗ, %	Ельники «буферной зоны» ЦЛГПБЗ, %
<i>Myodes glareolus</i>	57,13	97,10	94,76
<i>Myodes rutilus</i>	0,28	1,17	1,37
<i>Microtus agrestis</i>	3,59	0,81	0,42
<i>Microtus oeconomus</i>	27,78	0,03	0,05
<i>Pitymys subterraneus</i>	7,45	0,00	0,09
<i>Microtus arvalis</i>	0,00	0,25	0,71
<i>Apodemus uralensis</i>	2,76	0,56	1,51
<i>Apodemus flavicollis</i>	0,00	0,03	0,38
<i>Apodemus agrarius</i>	0,28	0,00	0,38
<i>Myopus schisticolor</i>	0,00	0,03	0,00
<i>Sicista betulina</i>	0,00	0,03	0,00
<i>Micromys minutus</i>	0,46	0,00	0,28
<i>Rattus rattus</i>	0,09	0,00	0,05
<i>Arvicola terrestris</i>	0,18	0,00	0,00
Объем выборки, экз.	1087	3586	2120
Число видов, шт.	10	9	11
Индекс Шеннона	1,163	0,173	0,304
Индекс выровненности Пиелу	0,505	0,075	0,127

На ранних стадиях зарастания сплошных вырубок сообщество грызунов гораздо более полидоминантно. Это обстоятельство обуславливает высокие показатели общего видового разнообразия. Индекс Шеннона $H' = -\sum(P_i \times \ln P_i)$ (где P_i – доля видов в составе сообщества) и показатели выровненности видов по обилию $E = H' \div \ln S$ (где S – число видов) на ранних стадиях вырубок значительно выше таковых в ельниках. Различия между показателями разнообразия гильдий грызунов ельников и вырубок носят достоверный характер.

Высокое видовое разнообразие гильдий грызунов на сплошных вырубках может быть обусловлено совместным действием нескольких важных факторов. Во-первых, на вырубках формируется мозаика из сохранившихся участков и новых микроместообитаний, образующихся на месте нарушений. Среда становится более гетерогенной: увеличивается число типов микроместообитаний и выровненность распределения отдельных «пятен»,

расширяется диапазон имеющихся ресурсов. В связи с этим, на ранних стадиях вырубок наблюдается сегрегация доминирующих видов полевков. Так, рыжая полевка занимает участки с сохранившимся «лесным» микрорельефом и травяно-кустарничковым ярусом, а сильно измененные площади в основном заселяет полевка-экономка (*Microtus oeconomus*, Pallas, 1776). Сходное пространственное разобщение совместно обитающих трех видов полевков обнаружено О. А. Жигальским (2007) для некоторых экосистем Южного Урала. Сведение древостоя и значительное нарушение травяно-кустарничкового яруса, неблагоприятно сказываются на абсолютном доминанте лесных неморальных экосистем – рыжей полевке, изменяя некоторые черты ее экологии (Истомин, 2008). Тем самым, вероятно, несколько ослабляется конкурентная способность данного вида. Поэтому периодически на вырубках для популяционных группировок других видов наступают благоприятные периоды с пониженным уровнем конкурентного исключения со стороны основного доминанта лесных экосистем и возникает возможность реализовать свой популяционный потенциал. В первые годы послерубочной демутации, как правило, наблюдается смена доминирования между рыжей полевкой и полевкой-экономкой. Иногда в межгодовой смене доминирования задействованы три вида: полевка-экономка, рыжая полевка и подземная полевка (*Pitymys subterraneus*, de Sélys-Longchamps, 1836) (рис. 1).

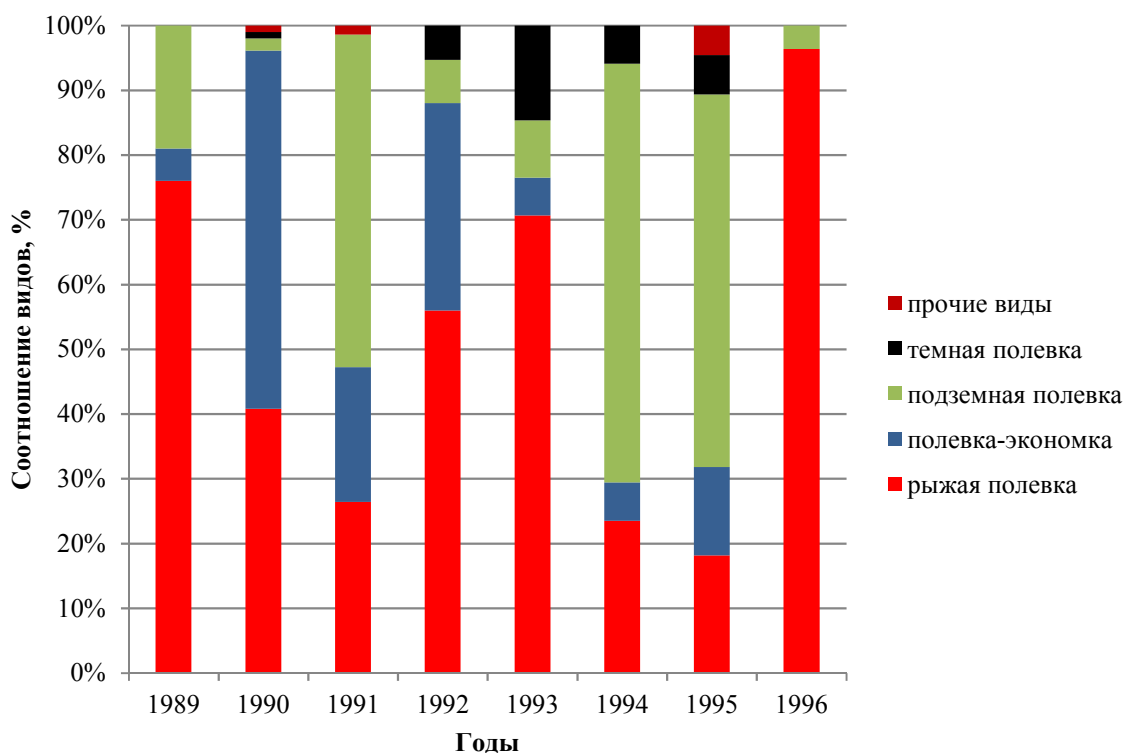
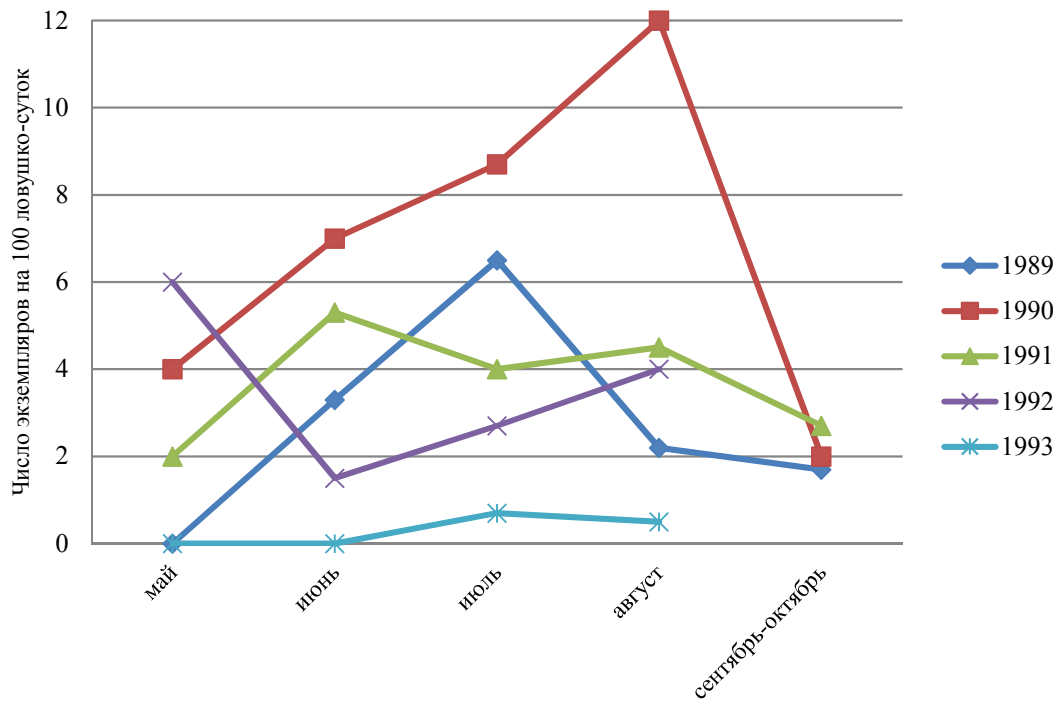
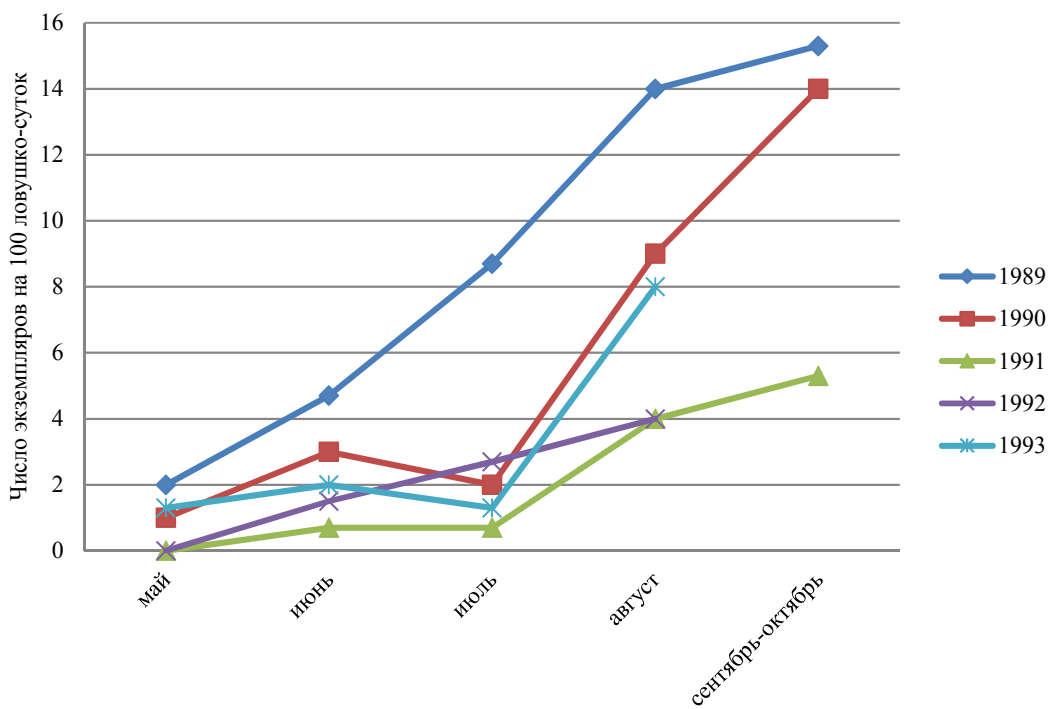


Рис. 1. Динамика видовой структуры гильдий грызунов на ранних стадиях одной из исследованных сплошных вырубок (годы рубки 1987–1988 гг.)

В отдельные годы гораздо более высокой, чем в зрелых лесных экосистемах, может быть степень участия в составе сообществ и некоторых других видов грызунов, например, темной полевки (*Microtus agrestis*, Linnaeus, 1761) и малой лесной мыши (*Apodemus uralensis*, Pallas 1811). Существует на вырубках и отчетливое разделение между доминирующими видами по временному компоненту ниши в сезонном аспекте. Так, сезонные пики численности полевки-экономки в основном приходятся на летние месяцы (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Сезонная динамика численности основных доминирующих видов на ранних стадиях зарастания сплошных вырубок: полевка-экономка (а), рыжая полевка (б)

Численность рыжей полевки на вырубках всегда достигает своего сезонного максимума осенью. Это, вероятно, связано с существенным вкладом процессов расселения в динамику численности данных видов на вырубках. Как правило, популяционные группировки полевки-экономки на вырубках окружены значительными пространствами лесных массивов с

сомкнутым пологом древостоя, малопригодными для обитания данного вида. В этих условиях полевка-экономка формирует эфемерные полуизолированные поселения, где ничто не препятствует эмиграции, однако активная иммиграция практически должна отсутствовать. Наоборот, для рыжей полевки условия лесных экосистем, окружающих вырубку, являются благоприятными и там существуют более стабильные и многочисленные популяционные группировки вида, которые достигают наибольшей численности в середине-конце лета (Истомин, 1999, 2008). Это обеспечивает к осени активный приток особей рыжей полевки на вырубку из прилегающих лесных массивов.

В связи с указанными особенностями структуры сообществ и популяционной динамики фоновых видов полевок существенно меняется характер развития эпизоотии на ранних стадиях вырубок. Если в лесных экосистемах основным видом, определяющим интенсивность хода течения эпизоотического процесса, безусловно, является рыжая полевка в силу своего исключительного положения в сообществе (Карулин и др., 1993, Истомин, 2008 и др.), то на вырубках существенно повышается значимость и других видов, формирующих весьма многочисленные популяционные группировки. Средняя степень зараженности лептоспирозом данных видов в исследованных условиях довольно велика (табл. 2).

Таблица 2

Средняя доля (%) инфицированных особей от общего числа обследованных животных на наличие антител к лептоспирам у фоновых видов грызунов, населяющих ранние стадии вырубок (n – число исследованных экземпляров)

<i>Myodes glareolus</i> (n=2668)	<i>Microtus oeconomus</i> (n=189)	<i>Pitymys subterraneus</i> (n=20)	<i>Microtus agrestis</i> (n=80)	<i>Apodemus uralensis</i> (n=61)
17,5 %	10,1 %	20,0 %	27,5 %	14,8 %

На основании этих материалов могут быть определены показатели численности инфицированных особей разных видов с учетом особенностей их межгодовой динамики на ранних стадиях послерубочной сукцессии (табл. 2).

Таблица 2

Общая численность и численность инфицированных лептоспирозом особей доминирующих видов полевок в июле – августе 1989–1996 годов (экземпляров на 100 ловушко-суток) на одном из модельных участков сплошной вырубки (в скобках указан возраст вырубки – число лет после рубки)

Виды	Численность	Годы							
		1989 (2)	1990 (3)	1991 (4)	1992 (5)	1993 (6)	1994 (7)	1995 (8)	1996 (9)
<i>Myodes glareolus</i>	общая	11,4	5,5	2,4	3,4	1,1	2,7	1,7	7,4
	инфицированные	2,00	0,96	0,42	0,60	0,19	0,47	0,30	1,30
<i>Microtus oeconomus</i>	общая	4,4	10,4	4,3	3,4	0,6	0,7	0,6	0
	инфицированные	0,44	1,05	0,43	0,34	0,06	0,07	0,06	0,00
<i>Pitymys subterraneus</i>	общая	0	0,4	2,9	0,5	0,9	3,3	5,4	0,3
	инфицированные	0,00	0,08	0,58	0,10	0,18	0,66	1,08	0,06
<i>Microtus agrestis</i>	общая	0,7	0,4	0	1,0	1,4	0,7	1,3	0
	инфицированные	0,19	0,11	0,00	0,28	0,39	0,19	0,36	0,00
Все полевки	общая	16,50	16,70	9,60	8,30	4,00	7,40	9,00	7,70
	инфицированные	2,63	2,20	1,43	1,31	0,82	1,40	1,80	1,36

Подавляющее большинство зараженных грызунов имели антитела к лептоспире *Grippytyphosa*. Только на вырубках отмечено небольшое число зверьков с антителами к лептоспире *Hebdomadis*. Наибольший вклад в сохранение возбудителя на травянистой стадии возобновления вырубок вносят рыжие полевки и полевки-экономки. Способность обсеменять лептоспирами территорию зависит не только от численности носителей, но и от интенсивности экскреторной деятельности и объемов мочи. Величина диуреза у этих видов неодинакова: полевки-экономки выделяют за сутки в 15–20 раз больше мочи по сравнению с рыжими полевыми (Литвин, Голубев, 1983; Хляп и др., 1988). Поэтому даже при относительно невысокой численности инфицированных полевок-экономок на ранних стадиях вырубок они могут иметь большое значение в создании заражающих точек и распространении лептоспир. Эпизоотический потенциал у рыжих полевок в большей степени зависит от их численности (Карулин и др., 1993). Весьма заметной в отдельные годы может быть эпизоотическая роль темной полевки. Это определяется очень высокой средней долей инфицированных лептоспирозом особей данного вида (27,5 %), а также довольно крупными размерами, с чем связана величина суточного диуреза и формирование заражающих точек. Немаловажное значение может иметь и гигрофильность полевки-экономки и темной полевки: увлажненные местообитания способствуют переживанию лептоспир во внешней среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В центре Каспийско-Балтийского водораздела на территории Центрально-Лесного заповедника существует активный природный очаг лептоспироза (Карулин и др., 1993; Истомин и др., 1999; Истомин, 2001, 2005, 2008). Наиболее интенсивно протекают эпизоотии в популяциях рыжей полевки, которая доминирует во всех типах лесных экосистем. В сохранении возбудителя, прежде всего, имеют значение неморальные ельники, где всегда поддерживается высокая численность рыжих полевок. Как показали наши исследования, весьма важную роль в поддержании природных очагов лептоспироза на данной территории могут играть самые ранние стадии (2–7 лет) послерубочных сукцессий на месте неморальных ельников. Участие в эпизоотии видов грызунов, населяющих сплошные вырубки, носит весьма специфический характер. Прежде всего, это связано с быстрой сменой доминирования в структуре гильдий основных потенциальных носителей инфекции: рыжей полевки и полевки-экономки. Иногда в этом процессе смены доминирования принимает участие относительно редкая для лесного массива заповедника и региона в целом – подземная полевка. Такая динамика в определенной степени может интенсифицировать локальный эпизоотический процесс. Только на вырубке встречены грызуны разных видов, имеющие антитела к лептоспире *Hebdomadis*. Кроме этого, следует подчеркнуть важную роль процессов расселения в формировании и функционировании популяционных группировок фоновых видов полевок на вырубках. Причем, для «пионерного» вида полевки-экономки, заселяющего только самые ранние стадии сукцессии, в большей степени характерна эмиграция после завершения процесса репродукции и заметное снижение численности на вырубках к осени. Для рыжей полевки, наоборот, отмечается довольно резкое увеличение численности осенью за счет иммиграции особей из прилегающих лесных участков. Известно, что среди мигрантов, как правило, больше зверьков, контактирующих с возбудителем. Поэтому, можно предположить, что для ранних стадий вырубок существуют активные и регулярные потоки «вноса и выноса возбудителя» расселяющимися особями. Данные обстоятельства определяют эпизоотийно-эпидемическую опасность участков, находящихся на ранних стадиях послерубочного восстановления, которые, вероятно, вносят кратковременный, но существенный вклад в общий потенциал очагов территории центральной части Каспийско-Балтийского водораздела.

Список литературы

- Жигальский О. А. Пространственно-временные взаимоотношения трех симпатрических видов полевок (Mammalia: Rodentia) на Южном Урале // Журнал общей биологии – 2007. – Т. 68, № 6. – С. 468–478.
- Истомин А. В. Расселение и динамика численности полевки-экономки и рыжей полевки на ранних стадиях зарастания сплошных вырубок южной тайги // Актуальные вопросы биоразнообразия животных в антропогенном ландшафте. Тезисы докл. научно-практической конференции. – Киев, изд-во УА МБН, 1999. – С. 62–65.
- Истомин А. В. Эпизоотолого-эпидемическое значение лесных ландшафтов на территории Каспийско-Балтийского водораздела // Социальные и экологические проблемы Балтийского региона: материалы обществ.-науч. конф. с международ. участием. Ч. 2. – 2001. – С. 265–276.
- Истомин А. В. Региональный мониторинг природно-очаговых инфекций // Псковский регионологический журнал. – 2005. – № 1. – С. 122–135.
- Истомин А. В. Мелкие млекопитающие в региональном экологическом мониторинге (на примере Каспийско-Балтийского водораздела). – Псков, 2008. – 278 с.
- Истомин А. В., Карулин Б. Е., Никитина Н. А. Очаги лептоспирозов в естественных и антропогенных ландшафтах Центрального Нечерноземья России // Актуальные вопросы биоразнообразия животных в антропогенном ландшафте. Тез. докл. науч.-практич. конф. – Киев, изд-во УА МБН, 1999. – С. 57–61.
- Истомин А. В., Карулин Б. Е., Никитина Н. А. Природно-очаговые инфекции в Центрально-Лесном биосферном государственном заповеднике // Комплексные исследования в ЦЛГПБЗ: их прошлое, настоящее и будущее. Труды Центрально-Лесного заповедника. – 2007. – Вып. 4. – С. 444–461.
- Карулин Б. Е., Никитина Н. А., Истомин А. В., Ананьина Ю. В. Рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus*) — основной носитель лептоспироза в лесном природном очаге // Зоологический журнал. – 1993. – Т. 72, вып. 5. – С. 113–122.
- Литвин В. Ю., Голубев М. В. Количественная характеристика диуреза у некоторых зеленоядных грызунов // Зоологический журнал – 1983. – Т. 62, вып. 8. – С. 1279–1281.
- Уланова Н. Г. Мониторинговые исследования растительности вырубок охранный зоны ЦЛГПБЗ, проводимые сотрудниками биологического факультета МГУ // Заповедники России и устойчивое развитие. Материалы конференции. Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. – 2007. – Вып. 5. – С. 321–328.
- Уланова Н. Г., Тошева Г. П. Связь растительности микрогруппировок вейниковой вырубки с почвами // Бюллетень Московского общества испытателей природы Отдел биологический. – 1989. – Т. 94, вып. 4. – С. 73–84.
- Хляп Л. А., Сербенюк М. А., Галанина Т. М., Загоруйко Н. В., Альбов С. А. Показатели диуреза рыжих полевок в связи с запаховой маркировкой // Коммуникативные механизмы регулирования популяционной структуры млекопитающих. Всесоюзное совещание. – М., 1988. – С. 185–187.

Istomin A. V. The role of early stages of post-logging successions in the maintenance of natural foci of leptospirosis in the central part of the Caspian-Baltic watershed // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 59–66.

The paper considers the role of the early stages (2–7 years) of succession of spruce forests after cutting down in the formation of natural foci of leptospirosis. Long-term research has been carried out in the Central Forest Biosphere Reserve and in the adjacent territory. The determination of antibodies to leptospira was performed at the N. F. Gamalei National Research Center for Epidemiology and Microbiology. The total volume of the material is 4290 specimens of small mammals of various species. There is an active of natural foci of leptospirosis in this region. Nemoral spruce forests are of the greatest importance in maintaining the forest hearth. The main carrier of the causative agent of leptospirosis is *Myodes glareolus*, (Schreber, 1780), which is the absolute dominant in forest ecosystems. *Leptospira Grippytyphosa predominates*. It is shown that epizootics on cutting have their own specifics. Small mammals populate the cut-down areas very quickly. Polydominant rodent communities are formed. These communities have a rapid change of dominance between potential carriers of infection (*M. glareolus*; *Microtus oeconomus*, Pallas, 1776; *Pitymys subterraneus*, de Sélys-Longchamps, 1836; *Microtus agrestis*, Linnaeus, 1761). The features of seasonal population dynamics and the nature of the settlement of dominant species in the early stages of succession are considered. The "climax" species *M. glareolus* is characterized by immigration, for the "pioneer" species *M. oeconomus* – emigration. The colonization cycle of *M. oeconomus* is realized within 5–7 years. The importance of settlement processes in the development of epizootics is discussed. Rodents of different species with antibodies to leptospira *Hebdomadis* were noted only in the clearing. Rodents of different species with antibodies to leptospira *Hebdomadis* were noted only in the early stages of succession after clearcutting.

Key words: natural focal infections, zoonoses, epizootics, leptospirosis, Caspian-Baltic watershed, early stages of succession clear cuttings of spruce forest, small mammals.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 15.01.23

удк 502.1

Особо охраняемые природные территории Псковской области как основа поддержания биоразнообразия трансграничного региона

Истомин А. В.^{1,2}, Истомина Н. Б.¹

¹ Псковский государственный университет
Псков, Россия

² Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник
Тверская область, Россия
c.gl@mail.ru

В работе оценивается роль особо охраняемых природных территорий Псковской области в поддержании биологического разнообразия региона. Используются литературные, архивные и авторские многолетние материалы. Дана характеристика системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) трансграничной Псковской области. В настоящее время в области 45 особо охраняемых территорий федерального, регионального и местного значения. Имеется ООПТ международного значения – Рамсарское водно-болотное угодье «Псковско-Чудская приозерная низменность». Суммарно ООПТ занимают около 8 % от общей площади области. Соотношение числа и площади ООПТ различного значения в Псковской области в целом соответствует таковому в Российской Федерации: преобладают охраняемые территории регионального значения. Приведены сведения о количестве видов различных таксонов, зарегистрированных на территории Псковской области и числе видов, внесенных в региональную Красную книгу. Из 391 вида Красной книги Псковской области 289 (74 %) охраняются в ООПТ. Ключевыми территориями для поддержания зональных природных комплексов являются ООПТ федерального уровня (Полистовский государственный заповедник, Себежский национальный парк, Ремдовский государственный заказник). Показана важная роль региональных памятников природы в охране мелких ландшафтных элементов и редких видов. Наибольшее значение принадлежит относительно крупным и экологически мозаичным комплексным памятникам природы: «Изборско-Мальская долина», «Озеро Полисто», «Западный берег Псковского озера». Отмечена уникальная роль небольшого (47 га), но чрезвычайно специфичного по своим условиям «Снеготорско-Муровицкого памятника природы». Обсуждается необходимость дальнейшего расширения и развития сети ООПТ в регионе за счет лесных природных объектов.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, Красные книги, редкие виды, биологическое разнообразие, Псковская область.

ВВЕДЕНИЕ

К числу основных национальных и международных приоритетов современного общества принадлежит экологическая безопасность, под которой понимается состояние защищенности природных объектов, жизни, здоровья человека от источников, представляющих для них определенную угрозу. Непосредственными объектами экологической безопасности являются природная среда и природные ресурсы, человек и общество. Ключевым событием для понимания масштабности экологических проблем и необходимости согласованной международной эколого-природоохранной деятельности стала всемирная конференция ООН 1992 года в Рио-де-Жанейро по охране окружающей среды и устойчивому развитию. Итоговый документ этой конференции – Программный план действий «Повестка дня на XXI век», в том числе, рекомендовал разработку национальных программ по широкому спектру вопросов, так или иначе связанных с обеспечением экологической безопасности (Программа..., 1993). Одна из сформулированных задач предусматривает: поддержание гармоничной структуры, взаимосвязей и саморегуляции естественных процессов, сохранение репродуктивности и видового разнообразия популяций организмов живой природы, обеспечение равновесного состояния экосистем. Реализация этой задачи невозможна без формирования системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ). К настоящему времени накоплен достаточный международный и отечественный опыт по созданию и

регулированию деятельности ООПТ. В нашей стране разработана и во многом реализована одна из самых эффективных в мире концепций территориальной охраны природы.

Несмотря на то, что в последние десятилетия XX века во всех странах мира наблюдалась тенденция к росту площадей охраняемых территорий, стали очевидны проблемы поддержания ООПТ, связанные с фрагментацией природных местообитаний из-за чрезвычайно активного использования человеком земной поверхности. Это обусловлено действием двух факторов: собственно утратой местообитаний и так называемой инсуляризацией. В результате чего многие естественные местообитания превращаются в разрозненные участки, которые окружены антропогенизированной средой. В настоящее время в аналогичной ситуации оказываются и многие ООПТ, со всех сторон окруженные антропогенными ландшафтами. По мере хозяйственного освоения территорий, прилегающих к ООПТ, их островная обособленность усиливается. После публикации положений островной биогеографии (MacArthur, Wilson, 1967) стали изучаться вопросы функционирования сообществ и популяций в различных материковых изолятах, окруженных территориями с резко отличающимися условиями. В том числе обсуждалась применение этой теории к практике охраны природы (Симберлофф, 1982; Уилкоккс, 1983; Истомин, 1985, 1990, 1992, 2000 и др.). В частности, прикладные аспекты островной экологии использовались при решении вопросов, связанных с планированием сети природных резерватов, выборе оптимальных размеров и очертаний границ охраняемых территорий, оценке преимуществ одного большого или нескольких малых рефугиумов одинаковой общей площади (Симберлофф, 1982; Пузаченко, Дроздова, 1988 и др.).

При усилении степени изолированности и ограниченности жизненного пространства в природных резерватах действительно возникают различные отрицательные эффекты, которые приводят к уменьшению числа коренных видов: эффект выборки, кратковременный и долговременный эффект инсуляризации, эффект губки, эффект опушки, сокращение генетического разнообразия и инбредная депрессия (Уилкоккс, 1983). Таким образом, в современных условиях поддержание системы относительно изолированных ООПТ не может остановить вымирание видов, деградацию экосистем и биологических ресурсов. В условиях фрагментации представляется чрезвычайно актуальным мониторинг различных «островных эффектов» на охраняемых территориях. Для оценки последствий инсуляризации необходимо привлекать следующие параметры: размер и конфигурацию охраняемой территории; характер ее связей с ландшафтно-экологическими аналогами, как возможными источниками колонизации видов; степень монолитности или подразделенности ООПТ; особенности природной среды прилегающих участков, прежде всего, степень их чужеродности для природных комплексов резервата и колонизационные возможности «чуждых» видов (Истомин, 2000).

Одним из путей решения проблем ООПТ, связанных с негативными последствиями от фрагментации ландшафтов в природных резерватах, является создание экологических сетей. Современная парадигма при формировании системы охраняемых природных территорий формулируется следующим образом – «ООПТ 21 века – от островов к сетям». Экологическая сеть – это система репрезентативных ключевых территорий, коридоров, связующих «островков» и буферных зон, спланированных и организованных таким образом, чтобы обеспечить сохранение биоразнообразия (Protected areas..., 2003).

В настоящее время во многих странах и регионах мира экологические сети являются неотъемлемой составляющей планов и концепций территориального развития. В отечественном территориальном планировании также применяется законодательно закрепленный термин с близким значением – экологический (или природно-экологический) каркас (Яковлева, 2013 и др.). На рубеже XX–XI веков для преодоления, накопившихся в «заповедном деле» России противоречий и проблем, специалистами активно разрабатывались обновленные подходы к созданию единой системы ОПТ как каркаса экологической устойчивости в стране (Охраняемые природные..., 1999).

Цель данной работы – оценка роли системы ООПТ Псковской области для сохранения биологического разнообразия региона, прежде всего, редких охраняемых видов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При организации и поддержании функционирования ООПТ любых категорий должны учитываться общие природные и социально-экономические особенности регионов. Псковская область располагается в северо-западной части Восточно-Европейской равнины и занимает площадь 55 399 км². Безусловной спецификой субъекта является фактор трансграничности. Псковская область граничит с тремя государствами (Эстонией, Латвией и Белоруссией), а также с Ленинградской, Новгородской, Тверской и Смоленской областями. Общая протяжённость государственной границы в области составляет 790 км, как сухопутной, так и водной. Трансграничность во многом определяет специфику всех сторон жизни региона, в том числе и природоохранной деятельности. Рельеф территории преимущественно низменно-холмистый (средняя высота – 110 м над уровнем моря) с тремя явно выделяющимися возвышенностями: Лужская, Судомская, Бежаницкая. В западной части региона находится обширная Псковская низменность, по которой течет река Великая, а на востоке – Приильменская низменность, по которой протекает вторая по величине водная артерия области – река Ловать. На территории области частично расположено Чудско-Псковское озеро – один из крупнейших водоемов Европы, а также еще около четырех тысяч озер. Вся озерно-речная система области относится к бассейну Балтийского моря. Около 38 % территории области составляют леса, 16 % — болота и заболоченные территории, 6 % приходится на долю водоемов.

Современный состав флоры и фауны региона определяется историческими, физико-географическими и антропогенными факторами. Псковская область находится в переходной зоне от южной тайги к широколиственным лесам. Ее биота, прежде всего, включает представителей этих двух зон. Довольно заметен также вклад лесостепных элементов, распространение которых связано с наличием в Псковской области редких для Северо-Запада России остепненных лугов. Многие редкие растения и животные на территории Псковской области представлены периферическими популяциями (Красная..., 2014), которые имеют определенное значение для микроэволюционных процессов видов. Через Псковскую область проходит Беломоро-Балтийской путь мигрирующих птиц. Это накладывает отпечаток на особенности формирования орнитофауны и подчеркивает природоохранную важность целого ряда территорий и акваторий региона, которые используются птицами для отдыха, кормления и объединения в стаи (Борисов и др., 2007).

При подготовке статьи обобщены многолетние материалы, собранные и опубликованные специалистами в разное время, в том числе с участием авторов (Истомин и др., 1997, 2000, 2006, 2008а, 2008б, 2015, 2016; Борисов и др., 2007; Красная книга Псковской области, 2014; Истомин, Можжина, 2015 и др.). Анализ использованных литературных данных, доступных архивных источников показал, что биота ООПТ изучена неравномерно. Прежде всего, это касается ООПТ регионального значения. На территориях некоторых региональных памятников природы проводились комплексные исследования с привлечением широкого круга специалистов. В других – исследования носили фрагментарный характер. Практически для всех ООПТ имеются подробные материалы по высшим сосудистым растениям и птицам. Для ООПТ с выраженным многообразием комплексов наземных местообитаний представлены достаточно полные сведения по флоре лишайников. Для ряда водных памятников природы приводятся и анализируются данные по фитопланктону и зоопланктону.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Псковской области в настоящее время 45 особо охраняемых территорий федерального, регионального и местного значения (табл. 1).

Имеется также ООПТ международного значения – Рамсарское водно-болотное угодье «Псковско-Чудская приозерная низменность». Суммарно ООПТ занимают около 8 % от общей площади субъекта.

Таблица 1

Система особо охраняемых природных территорий Псковской области

Категории ООПТ	Число ООПТ	Площадь ООПТ, тыс. га
ООПТ международного значения: Рамсарское водно-болотное угодье «Псковско-Чудская приозёрная низменность»	1	92,4
ООПТ федерального значения: Государственный природный заповедник «Полистовский»; Национальный парк «Себежский»; Государственный природный зоологический заказник «Ремдовский»	3	162,7
ООПТ регионального значения: 11 государственных природных зоологических заказников; 21 памятник природы	32	234,5
ООПТ местного значения	10	14,0

Соотношение числа и площади ООПТ различного значения в Псковской области в целом соответствует таковому в Российской Федерации (О состоянии..., 2021): преобладают охраняемые территории регионального значения (рис. 1, 2).

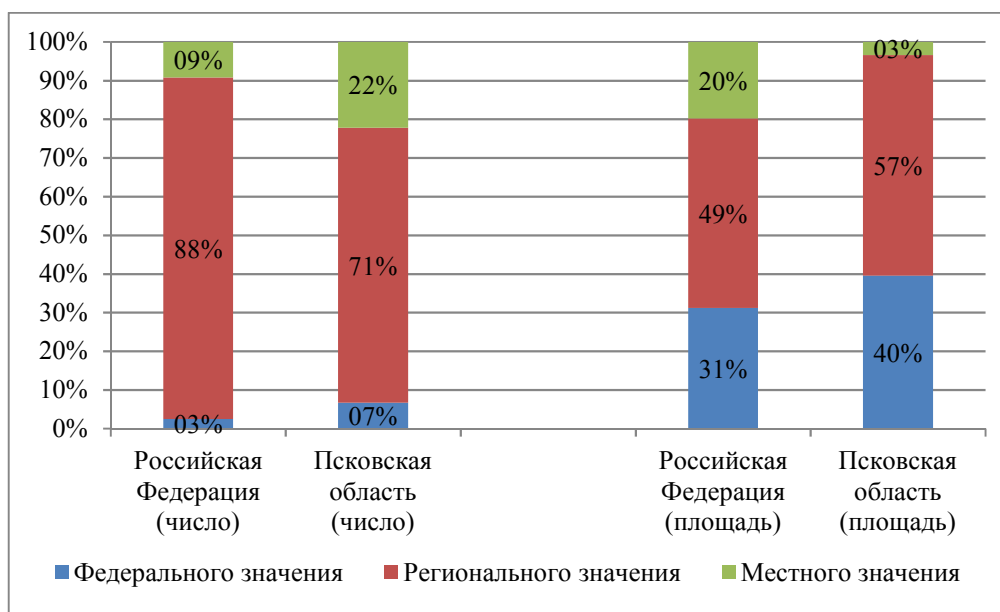


Рис. 1. Соотношение числа и площади ООПТ различного значения в Российской Федерации и в Псковской области

Структура региональных ООПТ в Псковской области также достаточно сходна с общероссийской: по числу ООПТ преобладают памятники природы, по площади – природные заказники. В целом, по территории Псковской области ООПТ распределены достаточно равномерно. В настоящее время из 24 районов рассматриваемого субъекта РФ только в четырех – ООПТ отсутствуют. В одном районе имеются охраняемые территории всех уровней. В трех районах функционируют федеральные и региональные ООПТ. В одном районе имеется только федеральная ООПТ. В двух районах области созданы ООПТ регионального и местного значения. Наибольшее количество районов (11) располагают

охраняемыми территориями регионального значения. В двух районах существуют только местные ООПТ.

В таблице 2 приведены сведения о количестве видов различных таксонов, зарегистрированных на территории Псковской области, внесенных в региональную Красную книгу и охраняемых на ООПТ.

Таблица 2

Число видов различных таксономических групп организмов из региональной Красной книги, охраняемых на ООПТ Псковской области

Группа организмов	Число видов, зарегистрированных в Псковской области	Число видов в Красной книге Псковской области	Число (доля в %) видов из Красной книги на ООПТ Псковской области
Водоросли	Около 1000	16	10 (63 %)
Мохообразные	Около 400	36	28 (78 %)
Высшие сосудистые растения	Около 1500	156	99 (63 %)
Грибы	Изучены недостаточно	24	15 (58 %)
Лишайники	299	26	23 (96 %)
Насекомые	Более 1700	46	34 (74 %)
Рыбы и круглоротые	39	3	2 (67 %)
Амфибии	10	3	2 (67 %)
Рептилии	6	2	2 (100 %)
Птицы	285	64	60 (94 %)
Млекопитающие	66	15	14 (93 %)
Всего	Около 5300	391	289 (74 %)

Представленные материалы свидетельствуют о довольно хорошей степени изученности различных систематических групп флоры и фауны региона. Исключение составляют грибы, которые исследованы недостаточно. Доля видов из региональной Красной книги (включая виды Красной книги РФ), которые встречаются в различных категориях ООПТ, достаточно велика (от 58 % до 100 %). В целом, три четверти видов, внесенных в Красную книгу региона, охраняются в ООПТ.

Безусловно, основными ключевыми территориями для поддержания зональных природных комплексов являются ООПТ федерального уровня (Полистовский государственный заповедник, Себежский национальный парк, Ремдовский государственный заказник). Однако, несмотря на довольно крупные размеры, эти территории в основном представлены водно-болотными природными комплексами.

Самая многочисленная группа природоохранных объектов Псковской области – региональные памятники природы (см. табл. 1), которые в основном были созданы после 2005 года. Особую роль памятники природы играют в охране мелких ландшафтных элементов в освоенных человеком регионах для поддержания экологически сбалансированной структуры территории. С учетом своих эколого-географических особенностей, количества и специфики основных объектов охраны памятники природы Псковской области могут быть сгруппированы следующим образом: комплексные (6 памятников), с открытыми геологическими обнажениями и объектами (3), острова в Псковском озере (2), водные (10). Несмотря на то, что суммарная площадь региональных памятников природы незначительна и составляет всего 32 тыс. га (около 8 % от общей площади ООПТ области), их роль в сохранении биоразнообразия и, в первую очередь, редких видов – достаточно заметна. Из 391 вида Красной книги Псковской области, 166 (42,5 %) отмечены в действующих памятниках природы. Наибольшее значение в сохранении редких видов принадлежит относительно крупным и экологически расчлененным комплексным памятникам природы: «Изборско-Мальская долина», «Озеро Полисто», «Западный берег Псковского озера». Следует отметить уникальную роль небольшого (всего 47 га), но чрезвычайно специфичного по своим условиям

«Снетогорско-Муровицкого памятника природы» (Истомин и др., 2000). Этот памятник природы заслуживает особого внимания, поскольку в настоящее время испытывает серьезное антропогенное воздействие (Истомин и др., 2018). Как уже отмечалось, отдельные группы организмов в некоторых памятниках природы изучены недостаточно. Нет сомнения, что реальный вклад памятников природы регионального значения в поддержание популяций редких видов выше, чем об этом известно сегодня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современной системы ООПТ в России тесным образом связано с соблюдением и защитой права каждого на благоприятную окружающую природную среду. Среда считается благоприятной, если ее состояние соответствует установленным в природоохранительном законодательстве критериям, стандартам и нормативам, касающимся ее чистоты, ресурсоемкости, экологической устойчивости, биологического разнообразия, рекреационного и эстетического богатства. В значительной степени характеристики благоприятной региональной окружающей среды, которые связаны с поддержанием экологической устойчивости, ландшафтного и генетического разнообразия, рекреационного и эстетического богатства, обеспечиваются посредством создания ООПТ.

Анализ имеющихся данных показал, что роль системы ООПТ Псковской области в сохранении в регионе редких видов различных таксономических групп организмов первостепенна. Поэтому контроль соблюдения режимов их охраны, оценка степени антропогенного воздействия, мониторинг состояния редких видов должны быть в постоянном поле зрения соответствующих служб и специалистов. Очевидно, также, что деятельность по дальнейшему сбалансированному расширению и развитию сети ООПТ в регионе продолжает оставаться актуальной. Поскольку с экологической точки зрения в системе ООПТ Псковской области существует определенный дисбаланс: в большинстве своем различный статус охраны имеют водно-болотные природные комплексы. Недостаточно представлены в составе ООПТ лесные природные объекты – основной зональный тип растительности в Псковской области. Известно, что лесные экосистемы характеризуются одним из самых высоких уровней биологического разнообразия, поэтому роль лесов в его поддержании чрезвычайно велика.

Дальнейшее развитие сети ООПТ и ведение Красной книги должны стать важными формами регулярной совместной деятельности органов власти, профессионального сообщества специалистов, землепользователей и населения по сохранению биологического разнообразия и природной среды с использованием современных подходов к организации экологических сетей. Эффективность и успех этой работы имеют большое региональное, национальное и международное значение, учитывая фактор трансграничности Псковской области.

Список литературы

- Борисов В. В., Истомин А. В., Истомина Н. Б., Судницына Д. Н., Урядова Л. П., Щелыкина Л. С., Афанасьев В. А., Можжина Т. Э. Создание комплексного регионального памятника природы на Западном побережье Псковского озера // Псковский регионологический журнал. – 2007. – № 4. – С. 38–51.
- Истомин А. В. Островная экология и теория заповедного дела // Теоретические основы заповедного дела: Всесоюз. сов. – Львов, 1985. – С. 105–108.
- Истомин А. В. Последствия инсуляризации и поддержание жизнеспособных популяций животных в резерватах // Заповедники СССР – их настоящее и будущее. Всесоюзная конференция. Ч. 3. – Новгород, 1990. – С. 240–243.
- Истомин А. В. Фенотипическое разнообразие и микроэволюционное состояние популяций в различных системах резерватов // Некоторые проблемы изучения разнообразия млекопитающих. – Киев: Ин-т зоологии АН Украины (Препринт 92.4), 1992. – С. 26–35.
- Истомин А. В. Организация охраняемых природных территорий и мониторинг последствий их инсуляризации // Особо охраняемые природные территории. 11 международная конференция. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 44–45.
- Истомин А. В., Истомина Н. Б., Конечная Г. Ю., Лихачёва О. В. Роль региональных памятников природы Псковской области в сохранении редких видов растений // Псковский регионологический журнал. 2018. – № 4 (36) – С. 82–93.
- Истомин А. В., Истомина Н. Б., Лихачева О. В., Судницына Д. Н. «Урочище Заозерье» – новая региональная ООПТ Псковской области // Заповедники Крыма –2016: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и

управление. Материалы VIII Международной научно-практической конференции (Симферополь, 28-30 апреля 2016 г.), – Симферополь, 2016. – С. 46–48.

Истомин А. В., Истомина Н. Б., Судницына Д. Н. Оценка современного состояния и корректировка границ Снеготорско-Муровицкого памятника природы (Псковская область, Россия) // Особо охраняемые природные территории. 11 международная конференция. Санкт-Петербург. 2000. – С. 199–200.

Истомин А. В., Истомина Н. Б., Судницына Д. Н., Борисов В. В., Щерблыкина Л. С., Урядова Л. П. Научное обоснование для объявления природного комплекса Западного побережья Псковского озера региональным памятником природы. Отчет. Рукопись. – Псков, 2006. – 50 с.

Истомин А. В., Истомина Н. Б., Судницына Д. Н. Придание правового статуса особо охраняемой природной территории регионального значения комплексному памятнику природы Псковской области «Изборско-Мальская долина» // Псковский регионологический журнал. – 2008а. Вып. 6. – С. 95–105.

Истомин А. В., Истомина Н. Б., Судницына Д. Н., Лихачева О. В. Материалы комплексного экологического обследования Изборско-Мальской долины Печорского района, обосновывающие придание правового статуса особо охраняемой природной территории регионального значения – памятника природы Псковской области «Изборско-Мальская долина». Отчет. – Рукопись. Псков, 2008б. – 69 с.

Истомин А. В., Истомина Н. Б., Судницына Д. Н., Лихачева О. В., Щерблыкина Л. С., Урядова Л. П., Борисов В. В. Отчет об итогах экологического исследования и научное обоснование для объявления природного комплекса урочище «Заозерье» (Псковская область) региональным памятником природы (№ гос. Регистрации НИР 115051840012). Рукопись. – Псков, 2015. – 120 с.

Истомин А. В., Можжина Т. Э. О первом издании Красной книги Псковской области // Псковский регионологический журнал. – 2015. – № 24 (24). С. 123–131.

Истомин А. В., Судницына Д. Н., Истомина Н. Б. Материалы по инвентаризации флоры и уточнению границ Снеготорско-Муровицкого памятника природы. Отчет. – Рукопись, Псков, 1997. – 22 с.

Красная книга Псковской области. – Псков, 2014. – 544 с.

О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2021. – 864.

Охраняемые природные территории. Материалы к созданию концепции системы охраняемых природных территорий России. – М.: Изд. РПО ВВФ, 1999. – 246 с.

Программа действий (Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении). – Центр за наше будущее. Женева. Швейцария, 1993. – 70 с.

Пузаченко Ю. Г., Дроздова Н. Н. Площадь охраняемых территорий // Итоги и перспективы заповедного дела СССР. М., 1988. – С. 72–109.

Симберлофф Д. Теория островной биогеографии и организация охраняемых территорий // Экология. – 1982. – № 4. – С. 3–13.

Уилкоккс Б. А. Островная экология и охрана природы // Биология охраны природы. – М.: Мир, 1983. – С. 117–142.

Яковлева С. И. Каркасные модели в региональных схемах территориального планирования // Псковский регионологический журнал. – 2013. – № 15. – С. 15–25.

Protected Areas and Ecological Networks // STRA-CO (2004) 10, the document developed by the Governments of The Netherlands and Russian Federation, 17.12.2003.

Istomin A. V., Istomina N. B. Protected areas of the Pskov Region as a basis for maintaining the biodiversity of a transboundary region // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 67–73.

The paper evaluates the role of protected areas of the Pskov region in protection of biodiversity of the region. Literary, archival and author's long-term materials were used. The characteristic of the system of protected areas of the transborder Pskov region is given. Currently, there are 45 of protected areas of federal, regional and local significance in the region. There is an international protected area – the Ramsar wetland “Pskov-Chudsky Priozernaya lowland”. Protected areas occupy about 8 % of the total area of the region. The ratio of the number and area of protected areas of various significance in the Pskov region generally corresponds to that in the Russian Federation: protected areas of regional significance prevail. The information on the number of species of various taxa registered in the Pskov region and the number of species included in the regional Red Book is given. Of the 391 species of the Red Book of the Pskov region, 289 (74 %) are protected in protected areas. The key territories for maintaining zonal natural complexes are protected areas of the federal level (Polistovsky State Reserve, Sebezhsy National Park, Remdovsky State Reserve). The important role of regional natural monuments in the protection of small landscape elements and rare species is shown. The greatest importance belongs to relatively large and ecologically mosaic complex natural monuments: “Izborsko-Malskaya Valley”, “Polisto Lake”, “The Western shore of Pskov Lake”. The unique role of a small (47 ha), but extremely specific in its conditions, “Snetogorsko-Murovitsky natural monument” was noted. The necessity of further expansion and development of the network of protected areas in the region at the expense of forest natural objects is discussed.

Key words: protected areas, Red Books, rare species, biological diversity, Pskov region.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 378.937:577.4

Некоторые аспекты формирования экологической культуры будущих учителей физкультуры

Кучина Е. Е., Назаренко Н. Н.

*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет
Челябинск, Россия
kuchina.ekaterinka01@mail.ru, nnazarenko@hotmail.com*

Рассмотрены вопросы формирования и уровня сформированности экологической культуры у будущих преподавателей физкультуры и работников сферы физического воспитания и спорта. Проведенные социологические исследования методом анкетирования студентов Высшей школы физической культуры и спорта Южно-Уральского гуманитарно-педагогического университета показало, что у респондентов сформирована готовность к снижению уровня загрязнения окружающей среды за счет уменьшения потребления товаров, которые могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде. Также выявлен мощный социальный заказ к органам власти на ужесточение государственных санкций за нарушения экологического законодательства и самого законодательства, но при этом студенческое сообщество полагает, что именно от каждого зависит решение экологических проблем. Установлено, что экологическое просвещение снижает уровень социальной истерии по вопросам охраны окружающей среды и формирует здоровое и взвешенное восприятие экологических проблем. В студенческой среде формируется доверие преимущественно себе и власти, на что органам власти и государственного управления необходимо обратить первоочередное внимание в формировании экологической политики России.

Ключевые слова: экологическая культура, социальные аспекты экологических проблем.

ВВЕДЕНИЕ

Обучение людей предусматривает осознанное использование уникальных личностно-развивающих ценностей, которые в первую очередь касаются поддержания благоприятной окружающей среды. Высокий уровень экологической культуры населения предполагает возможность сбалансированного использования каждым человеком не только материальных, но и социальных компонент окружающей среды для своего личностного развития и самосовершенствования (Шахмарданов, 2014; Астраханцева, 2016).

Если целенаправленная образовательная деятельность позволяет людям открыть для себя психологический и социальный потенциал взаимодействия с окружающей средой, как особый ресурс, то это не только создает дополнительные возможности для их личностного развития, но и формирует убеждение в уникальной ценности нашего мира. Это само по себе является серьезным фактором, влияющим на развитие экологически безопасных технологий природопользования. Обеспечение активного участия широких слоев населения в поддержке идей сбалансированного развития и поддержания здоровья среды – важнейший аспект деятельности по формированию экологической культуры (Ситак, 2016).

Позитивное отношение людей к природоохранным структурам является наиболее сильным стимулом общественной поддержки их деятельности. Формирование положительного отношения людей к требованиям экологического законодательства, к деятельности природоохранных служб предполагает наиболее интенсивную и в то же время наиболее тонкую работу с населением. Вовлечение людей в непосредственную практическую деятельность по поддержанию здоровья среды формирует у них чувство сопричастности: человеку свойственно беречь то, на что была направлена его созидательная активность, во что был вложен его собственный труд. Эффективное решение поставленных задач позволит сформировать у граждан стремление к рациональному и экологически безопасному использованию природных ресурсов и обеспечить возможность грамотного природопользования (Захаров, 2008; Ситак, 2016).

Человек – это часть природы. Его главной отличительной особенностью от высших животных является то, что он наделен активным сознанием. В человеке изначально заложена возможность регулировать свою жизнедеятельность в согласии с природными процессами. Это естественно для всех биологических существ, и человек не исключение. Он должен всегда помнить, что нарушение законов экологии – это то, что нецелесообразно, не оправдано с точки зрения функционирования биосферы. Следовательно, экологическая культура должна быть основана на естественном стремлении человека к правильному взаимодействию с окружающей средой. И начинать её формирование надо с детства (Колесник, 2014; Ситак, 2016).

Студенты университетов являются будущим нашей страны. Решения и действия будущих специалистов, которые тем или иным образом будут связаны с экологической обстановкой, будут зависеть от экологического восприятия будущих поколений (Шахмарданов, 2014; Ситак, 2016). При этом особая роль в этом принадлежит студентам педагогических Вузов как будущих учителей, формирующих экологическую культуру у обучающихся с первых их дней.

Нами ранее рассматривались аспекты формирования экологической культуры будущих учителей биологии, химии, безопасности жизнедеятельности и географии (Назаренко и др., 2020; 2020а). Однако подготовка учителей этих профилей подготовки предполагает глубокое изучение дисциплин экологического блока. В связи с этим интерес представляют особенности и аспекты формирования экологической культуры у будущих учителей других профилей подготовки, тесно связанных с естественнонаучным циклом, однако не предполагающей углубленное изучение экологических спецкурсов.

Цель данной работы – оценить формирование и уровень сформированности экологической культуры у будущих преподавателей физкультуры и работников сферы физического воспитания и спорта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Особенности и аспекты формирования и сформированности экологической культуры изучались методами анкетирования с использованием общепринятых подходов социологических исследований подобной направленности (Горшков и др., 2019). Разработанная авторами анкета включала 13 вопросов, касающихся оценки заинтересованности и обсуждаемости экологической проблематики, информированности и вовлеченности студентов в современную экологическую повестку, оценки студентами актуальных экологических проблем (в первую очередь в Российской Федерации), их важности и ответственности за их решения, авторитетов в современной экологической повестке и мероприятиях, в которых студенты готовы принимать участие. По каждому вопросу предлагались варианты выбора ответов, в том числе возможность выбора нескольких вариантов и их ранжирования по важности для респондента.

Опрос проводился в течение 2021–2022 годов среди студентов факультета «Высшая школа физической культуры и спорта» Южно-Уральского гуманитарно-педагогического университета. Анкетирование проводилось добровольно с соблюдением анонимности и этических норм, принятых в социологических исследованиях. Всего на факультете было опрошено 126 респондентов из всех академических групп всех (пяти) курсов обучения. Данная выборка является достаточной для корректной и репрезентативной оценки результатов социологических исследований (Кошевой, Карпова, 2011). Результаты обрабатывались в прикладном пакете MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматривая вопрос заинтересованности студентов Высшей школы физкультуры и спорта экологической проблематикой, необходимо отметить, что большинство обучающихся ей интересуются, при этом около трети студентов стараются быть в курсе событий (рис. 1,

вверху). Заинтересованность экологической тематикой определяется в первую очередь образовательными программами. Это связано с тем, что большинство не интересующихся оказалось среди студентов-первокурсников (они же достаточно активно отмечают, что узнают об экологической проблематике на специализированных занятиях), а пропадать интерес стал у выпускного курса. Максимальная заинтересованность определялась у студентов 2 и 4 года обучения, когда, судя по всему, им читались спецкурсы экологической направленности. Особую обеспокоенность вызывает высокая доля студентов, не интересующаяся экологической проблематикой, особенно среди выпускников.

Максимально активно экологическая повестка циркулирует в среде близкого общения студентов – родственников, друзей и знакомых – семья и близкий круг общения играют решающую роль в этом вопросе (рис. 1, внизу). Практически не пользуются при получении информации студенты печатными изданиями, информационными буклетами и постерами и радио, что объясняется современными тенденциями замещения традиционных источников информации цифровыми. Полученные показатели сопоставляются с результатами исследования будущих учителей биологов, химиков и географов (Назаренко и др., 2020). При этом роль социальных сетей, блогов и мессенджеров в получении новостей на экологическую тематику и, особенно в обсуждении этой тематики (рис. 1, внизу) оказалась гораздо ниже, чем предполагается из обсуждаемой в обществе активности молодежи в этом информационном сегменте. Также достаточно высокую роль в информационной экологической повестке продолжает играть телевидение (на что необходимо обратить внимание), не сильно уступающее свою позицию Интернет-ресурсам.

Исследование характера вовлеченности студентов Высшей школы физкультуры и спорта в экологическую проблематику показало, что подавляющее большинство обучающихся 1 и 2 курса, впервые ознакомилась с ней в дошкольном возрасте, а также активно была вовлечена в школьные мероприятия на эту тему. При этом большинство старших курсов акцентировали внимание именно на школьном возрасте. Полученные данные также сопоставляются с результатами исследования будущих учителей биологии, химии и географии (Назаренко и др., 2020). Это указывает правильное направление современной политики экологического просвещения населения, когда базовые экологические ценности закладываются в учреждениях дошкольного образования и свидетельствует о том, что государственная политика в сфере экологического просвещения подрастающего поколения работает достаточно успешно. При этом только порядка четверти респондентов продолжают принимать участие в экологических мероприятиях, проводимых Южно-Уральским государственным гуманитарно-педагогическим университетом (ЮУрГГПУ) (хотя информированы о них более трети опрошенных). Особую обеспокоенность вызывает тот факт, что около четверти обучающихся (особенно велика их доля на старших курсах), которые затруднились с ответом по вопросам организации экологических мероприятий в школе и ВУЗе.

Более тяжелая ситуация с вовлеченностью в мероприятия, организованные местными органами власти и управления. Подавляющее большинство опрошенных затрудняются с ответом на вопрос, проводятся ли какие-либо мероприятия экологической направленности в городе. Также крайне небольшая доля обучающихся (преимущественно, студенты 1 и 2 курса) принимает в них участие.

При оценке степени остроты ситуации (насколько остро в данный момент стоят проблемы окружающей среды для нашего общества) Подавляющее большинство опрошенных указало, что проблемы острые и требуют незамедлительных решений. Поскольку опрос проводился среди студентов Вуза, расположенного в индустриальном центре промышленно развитого региона (г. Челябинск), такой ответ не вызывает удивление. Однако необходимо отметить, что, несмотря на проблемное состояние окружающей среды в городе, число экологических «алармистов», полагающих, что проблема катастрофическая, небольшое. При этом подавляющее число «алармистов» – студенты первого и (вдвое меньше) второго курса. Фактически, экологическое просвещение и образование приводит к снижению

социальной истерии в связи с экологической повесткой, в результате чего формируется более здоровое и взвешенное восприятие информации и экологической повестки.

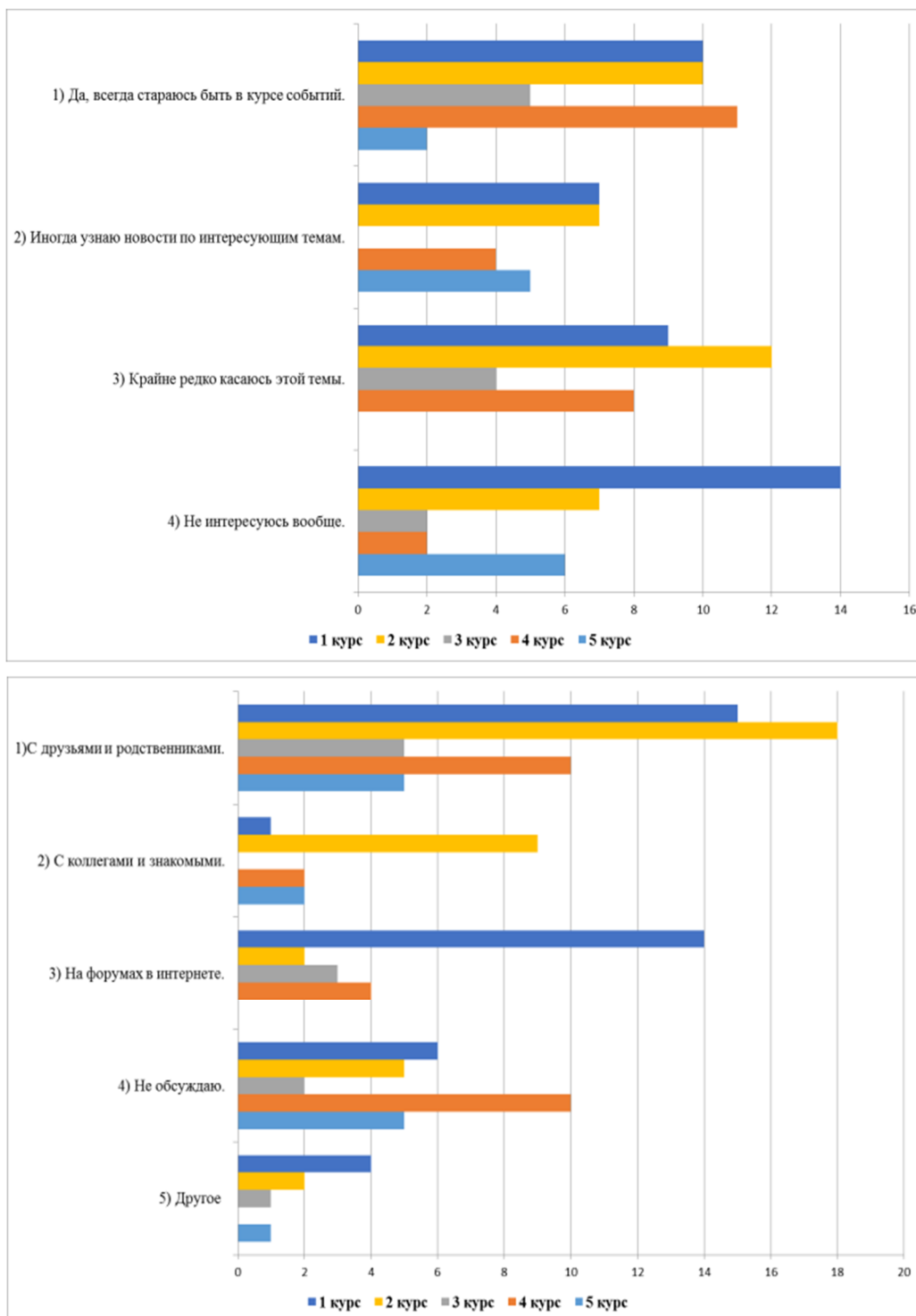


Рис. 1. Результаты опроса по выявлению степени заинтересованности и обсуждаемости экологической повестки респондентами «Интересуетесь ли Вы темой экологии?» – сверху; «С кем Вы обсуждаете вопросы, касающиеся экологической обстановки?» – внизу. По горизонтальной оси показано число респондентов, выбравших тот или иной ответ.

Важнейшими факторами взвешенной экологической политики является информированность общества и органов власти и управления о социальных запросах общества на приоритеты государственной политики и ответственности за ее проведение. Большинство респондентов полагают, что в России необходимо ужесточить штрафы за нарушение правил природопользования (рис. 2 – вверху).

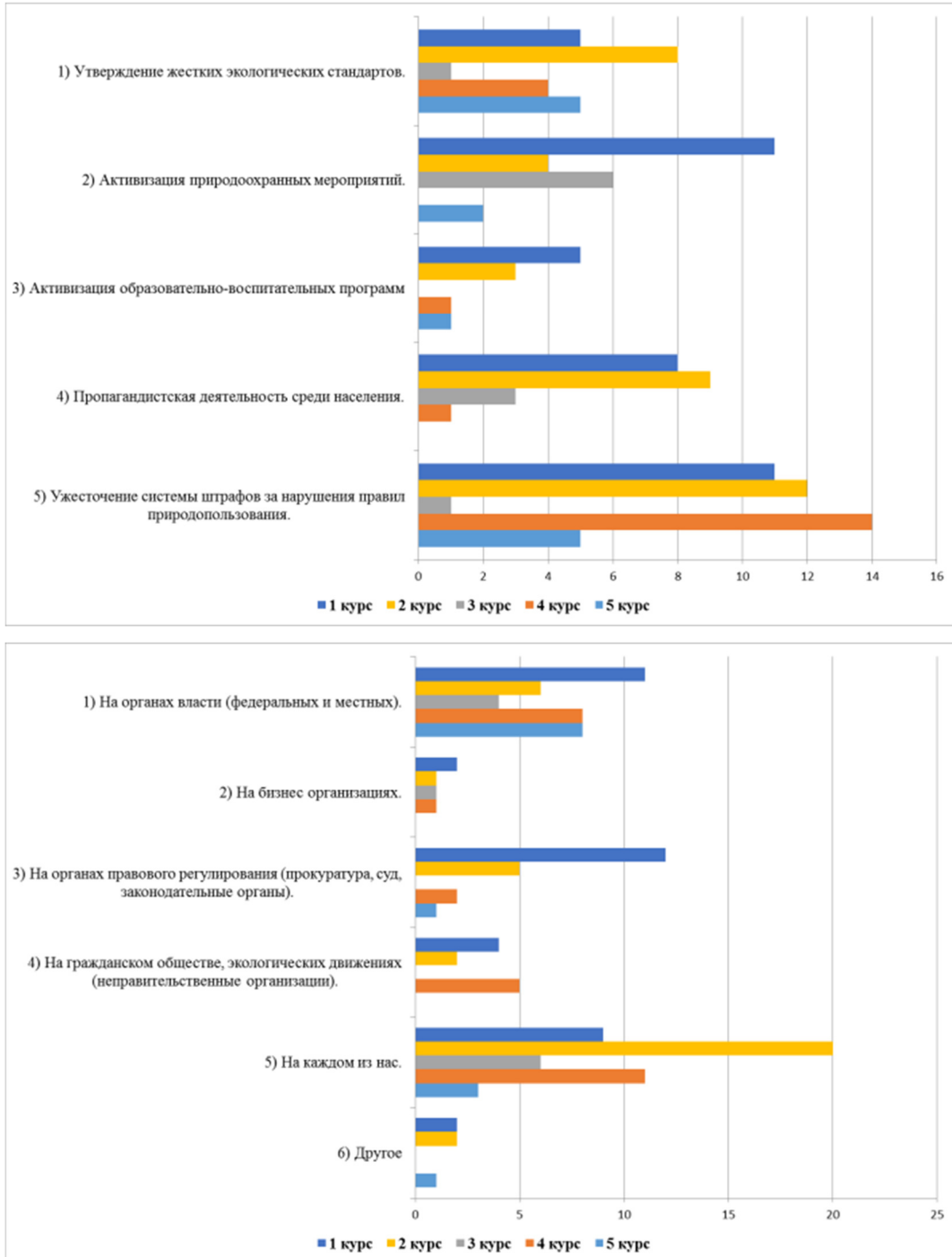


Рис. 2. Социальный запрос по двум вопросам экологической повестки «Какой из приоритетов экологической политики России самый важный» – ответы в блоке сверху; «На ком лежит ответственность за решение экологических проблем в нашей стране» – ответы в блоке внизу

Второе место занимает требование утверждения жестких экологических стандартов. Данные требования полностью совпадают с мнением, высказанным при обследовании будущих учителей биологии, химии и географии (Назаренко и др., 2020). Фактически это указывает на то, что существует социальный заказ к органам власти именно на ужесточение государственных санкций за нарушения экологического законодательства и самого законодательства, на что органам власти и государственного управления необходимо обратить первоочередное внимание. Активизация природоохранных мероприятий и усиление пропагандистской работы среди населения занимают только третью позицию, и пользуется популярностью преимущественно среди младших курсов.

При таких требованиях большинство опрошенных указало, что ответственность за решение экологических проблем в первую очередь лежит на каждом из нас и только во вторую очередь – на органах государственной власти и контроля (рис. 2, внизу). И подавляющее большинство полагает, что именно от каждого человека зависит многое, все могут и должны не только не вредить природе, но и возможными усилиями заботиться о ее улучшении, также подавляющее большинство опрошенных готово уменьшить потребление продуктов, вызывающих загрязнение окружающей среды. При такой сформированной достаточно жесткой, как к себе, так и к органам власти, гражданской позиции, очень немногие полагают, что ответственность лежит на некоем «гражданском обществе», экологических движениях или общественных организациях. Фактически, опрошенная молодежь доверяет преимущественно себе и власти, на что органам власти и государственного управления необходимо обратить первоочередное внимание.

Наконец, в вопросе о том, чье мнение является авторитетным в вопросах экологии, наблюдался высокий плюрализм и разброс выбранных ответов. Подавляющее большинство студентов младших (первый и второй) курсов доверяют в этом вопросе мнению родителей, преподавателей и специалистов экологов. Однако по мере взросления и обучения часть приоритетов, связанных с доверием меняется. При остающемся высоком доверии родителям у части старшекурсников, большинство из них предпочитает основываться на мнении специалистов-экологов, органов власти и средств массовой информации. Несмотря на обсуждаемую в обществе роль блогосферы и лидеров общественных организаций, доверяет им очень малое число опрошенных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, будущие учителя и работники сферы физического воспитания и спорта готовы к снижению уровня загрязнения окружающей среды за счет уменьшения потребления товаров, которые могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде. Отмечается важность участия в мероприятиях экологической направленности по очистке городских объектов и повышению уровня экологической образованности. При этом существует мощный социальный заказ к органам власти на ужесточение государственных санкций за нарушения экологического законодательства и самого законодательства, на что органам власти и государственного управления необходимо обратить первоочередное внимание.

При высокой вовлеченности в природоохранные и экологические мероприятия в образовательных учреждениях, наблюдается крайне низкая вовлеченность в мероприятия, организованные местными властями.

Необходимо отметить, что изменения мнения по экологической повестке и вовлеченности в экологические мероприятия изученной группы респондентов во многом определяется тем, ведутся или нет дисциплины экологической направленности (рассматриваются или нет экологическая проблематика на занятиях) в конкретный год обучения.

Экологическое просвещение и образование приводит к снижению социальной истерии в связи с экологической повесткой, в результате чего формируется более здоровое и взвешенное восприятие информации и экологической повестки. Подавляющее большинство полагает, что именно от каждого человека зависит многое. В качестве авторитетов по вопросу экологии

указываются родители, преподаватели, специалисты-экологи и органы власти и государственного управления. Фактически, формируется доверие преимущественно себе и власти, на что органам власти и государственного управления необходимо обратить первоочередное внимание. При таком кредите доверия именно от властей и их решений зависит, будут ли учтены выявленные социальные процессы формирования экологического сознания граждан, изменена информационная политика и будут ли переломлены негативные тенденции в сфере экологической политики России.

Благодарности. Авторы благодарят всех студентов Высшей школы физической культуры и спорта Южно-Уральского гуманитарно-педагогического университета за добровольно участие в анкетировании.

Список литературы

Астраханцева И. В. Концептуально-методологическое обоснование значимости экологического воспитания в системе профессиональной подготовки будущего учителя // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта (Российский журнал физического воспитания и спорта). – 2016. – № 2. – С. 84–88.

Горшков М. К., Шереги Ф. Э., Докторов Б. З. Прикладная социология. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 334 с.

Захаров В. М. Формирование экологической культуры и развитие молодежного движения // Акрополь, Центр экологической политики и культуры, Центр экологической политики России. – 2008. – № 79. – С. 15–21.

Колесник А. И. Теоретическое обоснование методики экологического самовоспитания // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2014. – № 3. – С. 49–50.

Кошевой О. С., Карпова М. К. Определение объема выборочной совокупности при проведении региональных социологических исследований // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. – 2011. – № 2 (18). – С. 98–104.

Назаренко Н. Н., Похлебаев С. М., Третьякова И. А. Некоторые аспекты формирования экологической культуры будущих учителей естественных специальностей // Биологическое и экологическое образование студентов и школьников: актуальные проблемы и пути их решения: материалы V международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В. М. Астафьева. 7-8 февраля 2020 г., г. Самара, Российская Федерация / [Отв. ред. А. А. Семенов]. – Самара: СГСПУ, 2020. – С. 273–278.

Назаренко Н. Н., Похлебаев С. М., Третьякова И. А. Состояние уровня сформированности экологической культуры будущих учителей естественных специальностей и перспективы ее повышения // Conferința științifico-practică internațională «Știință, educație, cultură». Сборник статей: Международная научно-практическая конференция «Наука, образование, культура», посвященная 29-ой годовщине Комратского государственного университета. – Том III. Психолого-Педагогические науки. – Комрат, 2020а. – С. 475–480.

Ситак Л. А. Актуальные вопросы формирования экологической культуры студентов – будущих педагогов // Творческий научный обозреватель. – 2016. – № 1. – С. 24–27.

Шахмарданов З. А. Экологическое образование – фактор устойчивого развития общества // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 2. – С. 112–113.

Kuchina E. E., Nazarenko N. N. Some aspects of environmental culture forming of future physical education instructors // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 74–80.

The problem of the formation and development level of ecological culture among physical education instructors and workers in the field of physical education and sports to be has been considered. The conducted sociological research by the method of students of the Higher School of Physical Culture and Sports of the South Ural Humanitarian Pedagogical University questionnaire design showed that respondents have formed a willingness to reduce the level of environmental pollution by reducing the consumption of goods that can cause irreparable damage to the environment. A powerful social order has also been revealed to the authorities to tighten state sanctions for violations of environmental legislation and the legislation itself, but at the same time the student community believes that the solution of environmental problems depends on everyone. It is established that environmental education reduces the level of social hysteria on environmental issues and forms a sound and balanced perception of environmental problems. In the student environment, trust is formed mainly in oneself and the authorities, which the authorities and public administration need to pay priority attention to in the formation of environmental policy in Russia.

Key words: ecological culture, social aspects of environmental problems.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 23.12.22

УДК 631.483: 634.8

Различия в содержании тяжелых металлов в почвах Южного берега Крыма (пространственно-временной анализ)

Лисецкий Ф. Н., Зеленская Е. Я.

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Белгород, Россия
liset@bsu.edu.ru, zelenskaya@bsu.edu.ru*

Высокие агрохимические нагрузки и, в частности, специфические источники поступления тяжелых металлов в почвы под виноградниками определяют актуальность оценки степени опасности, используя различные подходы при выборе основы сравнения (ПДК, ОДК, региональный геохимический фон (РГФ)). Цель исследования заключалась в пространственно-временном анализе агрорядов и хронорядов почв по содержанию 12 тяжелых металлов и металлоидов (As, Pb, Zn, Cr, Co, Ni, Cu, V, Sr, Mn, Ba, Fe) в зоне распространения коричневых горных щебнистых почв вдоль южной периферии Крымского п-ова. Объектами исследования стали современные виноградники на землях ЮБК и в историческом районе виноградарства (хора Херсонеса Таврического), где были также отобраны 70 образцов почв постантичных залежей в наиболее хорошо сохранившихся земельных наделах. Разновозрастные почвы, датированные по историческим и археологическим данным (n·10, n·100, n·1000 лет), сопоставляли с почвами-эталоном, сформированными под лесной и степной растительностью (мыс Мартыян и к западу от мыса Айя), что позволило обосновать РГФ по содержанию тяжелых металлов и металлоидов. Результаты природно-антропогенной эволюции почв можно отразить адаптировано к региональным условиям, применяя такие подходы к интегральным оценкам загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами, когда вместо ПДК будут использованы величины РГФ, обоснованные по местным эталонам, а при расчете экологического показателя суммарного загрязнения будут учтены классы опасности (поправочные коэффициенты на токсичность элементов). Без экологизации сложившейся практики виноградарства прогнозируется более масштабное сверхнормативное содержание в крымских почвах таких тяжелых металлов и металлоидов, как Pb, Cr, Zn, Cu и As.

Ключевые слова: тяжелые металлы, экологическое нормирование, коричневые почвы, Крымский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с принятием Федерального закона № 468-ФЗ (редакция 02.07.2021) «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» появляется возможность производить продукцию с защищенным географическим указанием места происхождения виноматериалов. Для более эффективного использования местного почвенно-климатического потенциала необходимо создавать ампелоценозы, адаптированные к конкретным ландшафтно-экологическим условиям. При индивидуализации земельного участка с многолетними насаждениями ключевыми факторами выступают климат, почва и сорт винограда. Намеченные перспективы увеличения площадей виноградников, вовлечение в насаждения новых эдафотопов позволит расширить спектр производимой продукции, получать высококачественную продукцию с яркой индивидуальностью, что должно подкрепляться системой защиты по географическому признаку. В научном плане достижению этой цели может способствовать применение концепции терруара в России и, в частности на территории Крымского п-ова, обладающей значительным почвенно-климатическим разнообразием (20 агроклиматических районов, 17 генетических групп почв) (Лисецкий, Зеленская, 2022). С терруаром связаны и такие важные решения, как борьба с фальсификатами, активное развитие эногастрономического туризма с региональной спецификой и др. Однако с появлением современного виноградарства длительный процесс идентификации терруара поставил под сомнение те методы, которые повышают или снижают устойчивость терруара, что связано с процессами деградации, проявляющимися, возможно, значительно больше, чем когда-либо (Vaudour et al., 2015). Одними из важных компонентов

применения концепции форсайт в экологической сфере являются оценки потенциальных рисков, а также разработки стратегий смягчения негативных последствий (Заниздра, 2020). По сравнению с агроландшафтами, используемыми в полеводстве, почвы под виноградниками испытывают более значительные агрохимические нагрузки и, в частности, за счет загрязнения тяжелыми металлами, что определяет актуальность оценок степени опасности с помощью различных подходов и прогноза достижения сверхнормативных значений загрязнения агропочв.

Цель работы – провести пространственно-временной анализ хроно- и агрорядов почв по содержанию 12 тяжелых металлов и металлоидов в пределах распространения коричневых горных щебнистых почв вдоль южной периферии Крымского полуострова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район и объекты исследования. В территориальном отношении полевые исследования вдоль южной периферии Крымского полуострова (от мыса Херсонес до Феодосии) обеспечили формирование звеньев агрорядов почв (эталон (коренной лес и целинная степь) – агроэкосистема (виноградники) – залежи) и хронорядов почв (разновозрастные почвы (п. 10, п. 100, п. 1000 лет) – зональные почвы-эталон (под лесной и степной растительностью). Это обеспечило возможность проведения пространственно-временного анализа формирования регионального геохимического фона (РГФ) и антропогенных нагрузок на почву, связанных с накоплением тяжелых металлов.

Территория Гераклейского п-ова, которая входит в состав южнобережного умеренно-жаркого засушливого с очень мягкой зимой агроклиматического района, отличается от субтропического подрайона Южного берега Крыма (ЮБК) меньшими (на 300 °С), суммами температур за период >10 °С, а также более низкими (на 3–4 °С) значениями абсолютных годовых минимумов температур (Климатический атлас Крыма, 2000). Однако доминирование в почвенном покрове Гераклейского п-ова коричневых горных щебнистых почв, сформированных под кустарниками, можжевельниковыми лесами и фриганоидно-разнотравными степями, соотносится с теми районами Крыма, которые имеют биоклиматические особенности субсредиземноморья. Особенно важно отметить, что растительность в таких ландшафтах содержит маркерные виды гемиксерофильных лесов и ксерофильных редколесий – *Pistacia mutica* Fisch. & C.A. Mey и *Juniperus excelsa* M. Vieb. (Бондарева, 2005; Cordova, 2016).

К юго-востоку от Балаклавы в поясе полусубтропических (фисташково-дубовых и можжевельново-сосновых) лесов ЮБК (Красная книга..., 2018) были определены два объекта к западу от м. Айя (признанной границы субсредиземноморья Крыма): S-43 под степной растительностью (плато в 0,9 км к востоку от Балаклавской бухты) и S-35 под лесом (в 2,5 км от Балаклавской бухты и в 300 м от берега моря, ур. Ближнее, 136 м н. м.). На плато с точкой отбора S-43 представлена разнотравно-типчачково-ковыльная (*Stipa lessingiana*) ассоциация с общим проективным покрытием 90 %. Экосистема на месте пробоотбора S-35 характеризуется типичным для региона разреженным лесным сообществом с доминированием сосны брутйской (*Pinus brutia* Ten) и можжевельника высокого (*Juniperus excelsa* M. Vieb.) (Красная книга..., 2018). Место отбора почвы выбрано на участке между двумя соснами (окружность ствола 69 и 89 см) и двумя экземплярами можжевельника (с окружностями ствола 36 и 47 см), где сформирован органогенный горизонт (подстилка) мощностью 4,5 см. Как показали исследования почв на территории заповедника мыс Мартыян (Агаджанова и др., 2021), климатическая обстановка на ЮБК, начиная с плиоцена, мало отличалась от современной, что определяло стабильность факторов почвообразования. Эталон для ЮБК (S-1, 0–20 см), – это почва, которая наиболее доказательно отражает специфику и длительность педогенеза на ЮБК и представлена на почвенном стационаре, заложенном на территории заповедника «Мыс Мартыян» в начале 1980-х годов (Плугатарь и др., 2018). Она определена как коричневая красноцветная мощная глинистая остаточная

карбонатная слабо дифференцированная почва на элювии-делювии карбонатных пород, которая сформирована под реликтовой растительностью средиземноморского типа (*Juniperus excelsa*, *Quercus pubescens*). Разновозрастные почвы, формировавшиеся в климатических условиях субатлантического периода голоцена (с середины 1-го тысячелетия до н. э.), изучали на руинах средневековых поселений и укреплений (ранневизантийские крепости, замки светских феодалов, укрепленные монастыри и окруженные стенами поселения и убежища сельских общин) Южнобережья, которые тянутся цепочкой от Чембало до Кутлака (Иванов, 2008), а также на культурном слое некоторых античных памятников: Кучук-Ламбат и крепость Харакс (II–III вв. н. э.). Местоположение этих объектов охватывало прибрежную зону южных склонов до высоты 500 м н. у. м., где представлены коричневые почвы на элювии известняков, и нижний пояс первой гряды гор. Привлечены данные по новообразованным почвам на территории Херсонеса Таврического и его округа (Лисецкий и др., 2017). Возраст почв определяли по датировкам керамики, выполненных специалистами Института археологии Крыма РАН. Отличие разновозрастных почв от их полнопрофильных аналогов характеризуется двумя основными особенностями, во-первых, возможностью отражения специфики педогенеза в актуальных биоклиматических условиях последних 300–2000 лет, а, во-вторых, вероятностью потенциального привноса в вещественный состав материнских пород результатов антропогенной активности. Из общей выборки (n=36) были отобраны почвы, наиболее загрязненные тяжелыми металлами (табл. 2), а по остальным объектам получены усредненные данные.

Отбор образцов из горизонта А почв современных виноградников проводили на 29 объектах (16 на ЮБК и 13 на Гераклеийском п-ове). Номера античных наделов (клеров) на землях Гераклеийского п-ова указаны по новой схеме (Николаенко и др., 2022). Путем дешифрирования космических снимков были определены наиболее перспективные клеры с точки зрения сохранности почвенно-растительного покрова. В итоге, было обследовано 70 клеров с отбором почвенных образцов в рядах с номерами 130–190-е, 220–260-е, 340-е, а также в клерах 49, 301, 402. Как показали исследования заброшенных виноградников (Lieskovský, Kenderessy, 2022), среднее повышение уровня поверхности почвы в режиме ее ренатурации в первое десятилетие составляет 0,56 мм/год. Однако по сравнению с 10-летними залежами через 2–7 десятилетий скорость воспроизводства гумусового горизонта замедляется почти в 20 раз (Мальшев, 2021). Поэтому для оценки агрогенной трансформации почв в условиях залежей следует производить отбор из слаборенатурированных слоев. Отбор почвенных образцов на постагрогенных залежах проводили ниже дернинного горизонта (мощностью 3–6 см) из верхней части гор. А (мощностью 21–25 см).

Методы. Концентрации макро- и микроэлементов в почвах определяли в порошковых пробах по методике измерений массовой доли металлов и оксидов методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на рентгеновском спектрометре. Оценку загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами проводили по 11 химическим элементам, дифференцированных по трем классам опасности с присвоением коэффициентов токсичности 1,5, 1,0 и 0,5 соответственно: (As, Pb, Zn, Cr); (Co, Ni, Cu); (V, Sr, Mn, Ba) (Водяницкий, 2008, с. 9), с добавлением железа, учитывая его потенциальную токсичность при избытке в клетках и геохимическую специфику крымских почв в жарких агроклиматических районах. При оценке степени загрязнения почв основными тяжелыми металлами были использованы принятые в экологии (гостированные) значения ПДК, по железу – ОДК в почвах (Гончарук, 1986), а по барии – результаты новых исследований (Semenkov, Koroleva, 2020). Для оценки суммарного загрязнения почв поллютантами использованы четыре варианта расчетных формул: А – показатель Саета (Саега и др., 1990); В – экологический показатель суммарного загрязнения с учетом поправок на токсичность (Водяницкий, 2010); С – индекс загрязнения на основе расчета среднего геометрического значения (Yang et al., 2007) и его модификация с учетом токсичности тяжелых элементов – D (Водяницкий, 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение регионального геохимического фона. Как отмечают авторитетные исследователи (Орлов и др., 2002), ПДК загрязняющих веществ наряду с их химической природой и токсичностью, определяется также генетическими особенностями самих почв, что делает некорректным установление унифицированных уровней ПДК. Определенная дифференциация нормативов в зависимости от физико-химических свойств почв («с учетом фона») предложена Госкомсанэпиднадзором в 1994 году при установлении ОДК (величины которых значительно выше ПДК по Cu, Zn, Pb, Ni). Региональная специфика геохимии почв и, в частности, фоновое содержание тяжелых металлов, часть которых относится к микроэлементам, полезных для растений, во многом зависит от генетических особенностей почв (минералогического и гранулометрического состава, количества и качества органического вещества, pH и окислительно-восстановительного потенциала, климата почв). Анализируя фоновые и допустимые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (Чернова, Бекецкая, 2011), отмечается, что токсичные для растений концентрации тяжелых металлов сильно варьируют в зависимости от свойств конкретных почв, а нередко наблюдается, когда фоновое содержание в несколько раз превышает ПДК.

Среди новообразованных почв (табл. 1) особые геохимические свойства имеют те из них, которые подстилаются плотными коренными породами и весь педогенез сконцентрирован в слое выветривания, где формируется кальциевый барьер. Они характеризуются высоким содержанием CaCO₃ – в среднем 9,8 % (при максимальном содержании 17–26 %). Среди коричневых почв сухих лесов и кустарников на элювии и делювии коренных пород наряду с некарбонатными видами встречаются в два раза чаще карбонатные виды, у которых среднесодержание CaCO₃ составляет в верхнем горизонте 5,8 %. Как показал анализ геохимического состава по всему перечню макро- и микроэлементов, эти два вида почв ЮБК не могут рассматриваться в составе одной совокупности. Поэтому величины РГФ были дифференцированы для карбонатных и малокарбонатных видов почв.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов и металлоидов в верхних горизонтах залежных почв Гераклейского п-ова и в разновозрастных (n·10 ÷ n·1000) почвах Южного берега Крыма

Химические элементы	Район, тип почв, выборка (n) и концентрация тяжелых металлов и металлоидов, мг/кг			
	Гераклейский п-ов		ЮБК	
	карбонатные	выщелоченные	карбонатные	выщелоченные
	n=60	n=11	n=9	n=10
Fe	32022±763	38210±1823	33183±1973	39867±613
Mn	806±27	1388±185	1430±105	1032±54
V	90±2,4	126±8	93±10	113±2,2
Cr	79±1,5	95±4,1	91±5,1	92±0,6
Co	5±0,7	25±2,4	21±1,9	7±1,2
Ni	52±1,2	55±3,8	52±5,2	63±0,9
Cu	33±1,1	50±4,4	48±6,7	22±2,3
Zn	93±1,4	130±10	207±15	103±1,6
As	10±0,5	11±0,9	15±2,4	16±0,6
Sr	128±5,2	123±9,6	153±21	79±1,5
Ba	399±8	360±18	344±18	441±10
Pb	28±0,9	39±4,8	66±10	34±1,4

Результаты дешифрирования космоснимков на территорию Гераклейского п-ова с его восточным окружением (площадью 20,3 тыс. га) (Лисецкий и др., 2017, карта на с. 376) показали, что суммарно доля площади лесов, редколесья и кустарников составляет 12,5 %. До периода активного аграрного освоения земель на площади порядка 10 тыс. га доля лесной растительности в античную эпоху, по-видимому, были больше. Использование наряду с карбонатностью почв второго критерия для обоснования РГФ – разнотипности исходного растительного покрова – обусловлена тем, что первичные, накопленные многовековой эволюцией результаты педогенеза, отличающиеся при формировании почв под лесом и степной растительностью, хотя и были значительно сnivelированы античными земледельцами плантажной обработкой, потенциально могли приводить к мозаичной дифференциации биогеохимических свойств агропочв и, соответственно, возникших на их месте постантичных залежей.

При оценке загрязнения почв под виноградниками в качестве РГФ, учитывающего возможные различия почв по карбонатности, использованы данные по новообразованным выщелоченным почвам для ЮБК и данные по залежным карбонатным почвам для Гераклейского п-ова. При оценке загрязнения почв под виноградниками в качестве РГФ, учитывающего возможное различия почв по типу растительности (лес и степь), использованы для виноградников ЮБК и антропогенно-преобразованных почв данные по лесному эталону (м. Мартьян), а для виноградников и залежей на Гераклейском п-ове данные по степному эталону (почва к западу от м. Айя).

Особенности почв Гераклейского полуострова. В верхнем слое почв, расположенных к востоку от Балаклавы, и которые можно принять в качестве объектов с фоновыми региональными геохимическими параметрами, отмечено превышение (ранжированным убывающим списком) содержания ряда тяжелых металлов над принятым уровнем ПДК: $Ni > Cu > Pb > Cr$ (под лесом) и $Cu > Ni > Fe > Mn$ (в степных условиях). Таким образом, можно предположить, что почвы, первоначально вовлеченные в аграрное освоение на Гераклейском п-ове уже изначально (без возможных впоследствии агротехногенных воздействий), отличались повышенным, если сравнивать с нормой, содержанием половины списочного состава тяжелых металлов (кроме: $Zn > V > Co > Ba > As > Sr$) в силу геохимических особенностей этого региона. Помимо прямых воздействий на геохимию почв человеческой активности (сельскохозяйственная деятельность) антропогенный фактор мог также ослаблять роль педогенного фактора в пользу литогенного. Так, почвы в земельных наделах античного размежевания были подвергнуты плантажной обработке, что усилило в геохимическом составе почвенного профиля роль материнской породы, которой выступают известняки миоцена. Это также способствовало тому, что на постагрогенном этапе функционирования экосистем, когда формировались восстановительные сукцессии, участие степной растительности в педогенезе превалировало. Средние значения по почвам постантичных залежей ($n=70$) показали, что у них сохранилась более высокая по отношению к почвам регионального фона (целинной степи) концентрация серии элементов: $Ba > As > Pb > Sr$, что во многом связано с их более высокой карбонатностью. Однако, сопоставление почв постантичных залежей с почвами регионального фона в лесной обстановке показывает, что значительное обогащение отмечается только по содержанию марганца и бария, а значительное обеднение – по меди и стронцию.

Чтобы оценить современные и прежние возможности агрогенного загрязнения почв Гераклейского п-ова тяжелыми металлами из всего массива данных были отобраны наиболее характерные объекты, характеризующие современные виноградники и постантичные залежи (табл. 2). При потенциальной возможности кумулятивного (в античности и средневековье) загрязнения почв в наделе № F-262 не установлена высокая степень загрязнения (кроме небольшого превышения по отношению к РГФ содержания Cr и As), тогда как в наделе № F-146, где визуально отмечены артефакты от следов военных действий 1941–1942, 1944 годов, выявлен наибольший среди залежей уровень загрязнения за счет более высокого содержания ансамбля элементов: $Pb > Cu > Zn > Co > Cr$. Крымское виноделие на местном сырье развивалось в Юго-Западном Крыму и в эпоху средневековья, о чем свидетельствуют находки

около 200 винодельческих комплексов (Ганцев, 2021). Можно предположить, что вблизи открытых виноделен эпохи средневековья были и виноградники, с которыми территориально соотносятся изученные нами почвы в наделах F-268 и F-360. Если эти почвы и испытывали более длительный, чем в античных наделах, период агрогенеза, то это не оставило свидетельств более значимой степени загрязнения тяжелыми металлами. В частности, почву из клера F-268 отличает более низкое содержание меди и свинца по сравнению с почвами постантичных залежей.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и металлоидов в верхних горизонтах почв ключевых объектов Гераклейского полуострова (*) и ЮБК

Объекты	Концентрация металлов и металлоидов, мг/кг											
	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ba	Pb
Эталонные почвы												
S-1	133,2	107,9	750	29270	24	72	76,6	111,9	10,5	75,2	464,7	22,3
S-35*	113,7	96,9	476	37738	12,8	62,9	19	101,1	15,2	222,3	338,1	30,4
S-43*	48,9	32,8	339	24952	27,2	28,3	39,3	52,4	11,7	45,1	180,5	66,4
Современные виноградники												
V-1	152	126,5	790	44351	17,6	77,1	75	135,3	20,1	126,3	457,2	30
V-2	166,1	128,2	830	46496	17	77,8	77,1	124,6	20,3	118,1	461,3	32,7
V-3	150,9	108,6	828	41825	16,9	67,4	57,4	147,2	15,8	106	459,7	33,4
V-4	146	114,4	971	31876	22,4	67,1	63,2	169	13	84,8	548,4	42,1
V-5	155,7	119,2	834	31548	21,6	72,3	68,8	219	14,2	114,6	574,9	69,7
V-378*	94,9	85,3	788	33081	15	50,4	100,2	146,3	10,2	76,7	326,1	34,5
V-366*	104,9	81,9	1146	37716	15,3	62,4	139	93,9	10,6	78,5	460,7	26,9
V-380*	90,5	81	810	33709	7,1	50,7	178,7	92,3	10,4	68,8	386,6	22
Постантичные залежи												
F-262*	89,3	86,7	759	32380	0,9	50,2	16,7	89,5	11,8	112,8	402,6	30,8
F-227*	114,2	83,4	1073	38387	3,3	60,1	14,4	100,6	20,5	76,6	417,1	33,9
F-240*	105,1	88,7	1248	35530	10,3	59,8	41,2	95,7	9,4	100,7	522,9	39,4
F-151*	98,5	94,8	851	37313	10,8	61,8	55,7	101,6	9,9	121,8	441,6	34,9
F-146*	84,9	96,9	834	33273	9,1	54,4	67,9	174,3	8,9	125,6	356,3	80,7
Антропогенно-преобразованные почвы												
A-1	206,2	77,5	1297	41122	35,6	35,3	32,5	152,1	6,7	99,3	339,7	39,7
A-2	135,2	108,2	1217	32844	32,8	60,7	53,7	190,3	22,2	118,3	456,4	91,6
A-3	88,5	91,3	708	19516	25,9	53,7	45,5	728,9	26,4	358,3	619,1	151,1

Примечание к таблице. * – объекты территории Гераклейского п-ова (V-366, 378, 380 и постантичные залежи (F)) после буквенного шифра имеют номер, который соответствует принятой нумерации земельных наделов (Николаенко и др., 2022). Современные виноградники ЮБК: ФГУП «ПАО «Массандра», филиал «Алушта» (V-1, 2) и филиал «Гурзуф» (V-3), у Ялты (V-4, 5).

В почвах современных ампелоценозов интенсивного типа в пределах Гераклейского п-ова наибольшее загрязнение по сравнению с РГФ (степные условия) отмечается по Cu (в 3,2–5,7 раз), а также по Co, Zn, Mn. По остальным тяжелым металлам в почвах виноградников отклонение содержания ($\pm 10\%$) приближено к уровню РГФ (кроме стронция, содержание которого существенно ниже). Особенности геохимической трансформации почв, обусловленные агрогенезом, существенно отличаются от спектра поллютантов при иных видах хозяйственной деятельности. Так, на территории Севастополя исследования почв на культурных слоях исторических и археологических памятников с датировками 100, 158, 535, 1000 и 2280 лет, показало, что вне зависимости от зрелости почв ансамбль элементов-загрязнителей по отношению к РГФ (степные условия) стабилен (в скобках – коэффициенты превышения): Pb (3,8) > Sr (3,0) > As (1,7) > Zn (1,2), а также Ba (2,6) (при t=2280 лет).

Отличительным признаком генезиса коричневых почв в зональных условиях является то, что их формирование проходит под разреженной растительностью сухих лесов и кустарников при сочетании густого травянистого покрова преимущественно из степных злаков. Создание греками-колонистами на Гераклеийском п-ове ко второй половине IV в. до н. э. системы землеустройства из чуть более 400 земельных наделов (клеров) привело к трансформации почвенно-растительного покрова (замене природной растительности на агроценозы, турбированию почвенного профиля на глубину 60–80 см в результате плантажа). О первичном различии плодородия почв под лесом и степной растительностью можно судить путем сравнения почв-эталонов, используя результаты интегральной оценки качества почв (SQ), определяемой как среднее геометрическое содержания необходимых для растений макроэлементов (P, K, Ca, Mg) и микроэлементов (Zn, Mn, Fe, Ni, Cu) (Битюцкий, 2011). Расчеты показали, что потенциальное плодородие природных почв, сформированных под степной растительностью (SQ=4,8), выше на 16 % по сравнению с почвами под лесом (SQ=4,0) за счет более высокого содержания большинства элементов, необходимых растениям: $Mn > P > Cu > Ni > Zn > Fe$.

Загрязнение почв виноградников. В почвах современных виноградников интенсивного типа не встречаются случаи сверхнормативного содержания по Mn, Co и Sr, а наиболее часто превышение уровня ПДК отмечено по Cu, Ni, Cr, Pb, несколько реже – по V, Fe, Zn, As, Ba. Однако, если учитывать концентрации тяжелых металлов в почве, считающиеся предельными по фитотоксичности, которые обобщены по данным разных авторов, то наибольшие угрозы загрязнения почв под крымскими виноградниками связаны с накоплением V (> 100–150 мг/кг), Cu и Cr (> 100 мг/кг). Эти три загрязнителя при таких концентрациях можно считать приоритетными при организации агроэкологического мониторинга почв. По современным экотоксикологическим данным эти металлы по степени опасности формируют ряд: $V > Cu > Cr$ (Водяницкий, 2008). Так как нередко крымские виноградники непосредственно контактируют с транспортными магистралями, то в таких ситуациях перечень доминирующих поллютантов становится более широким, как, например, в почве виноградника вблизи Алушты (ФГУП «ПАО «Массандра»), где превышение ПДК наблюдается по шести элементам (Зеленская, Маринина, 2021).

В современном виноградарстве загрязнение почв медью в результате кумулятивного использования бордоской смеси (сульфата меди и гидроксида кальция) и других медьсодержащих фунгицидов становится все более серьезной проблемой и, в частности, приводит к изменению состава почвенных микробных сообществ (Vaudour et al., 2015). Ранее было установлено, что такие элементы, как Cu, V и As, слабо концентрируются в ягодах (<0,1%), а больше задерживаются в других частях виноградного растения (Лопина, Зеленская, 2021). Так как наибольшее количество меди накапливается в листьях, то основным агрохимическим источником поступления меди в почвы под виноградниками выступает лиственный опад, который минерализуется на поверхности в рядах, а в междурядьях вовлекается в верхний слой при регулярных культивациях. Исследования Института почвоведения, агрохимии и мелиорации почв им. Н. А. Димо для такого развитого региона виноградарства, как Республика Молдова, показали, что из-за применения медьсодержащих препаратов концентрация меди на винограднике может достигать в верхнем горизонте почвы 135 мг/кг, а это в пять раз превышает содержание в пахотных почвах; при этом содержание подвижной меди составляет 22 мг/кг (Лях, 1990).

Важно отметить, что при нормировании загрязнения почв помимо учета содержания основных носителей (органического вещества и илестых частиц) следует принимать во внимание наличие таких специфических сорбентов, как (гидр)оксидов железа и марганца, выступающих активными фазами-носителями тяжелых металлов и металлоидов (Водяницкий, 2008). Это замечание принципиально важно при оценке загрязнения крымских почв. Генетическим признаком коричневых почв является ясно коричневая окраска всего профиля (особенно безкарбонатной его части). Так, в пределах Гераклеийского п-ова маркирующим признаком, отличающим коричневые горные карбонатные легкоглинистые щебеночные почв от дерново-карбонатных почв, можно признать окраску почвы по шкале

Манселла 7,5 YR 4/4 (пограничный цвет между коричневым и темно-коричневым). Коричневые почвы, формируемые на протяжении длительного периода летней ксеропаузы, способны трансформировать унаследованные от материнской породы соединения железа в сторону образования красного гематитового пигмента, что определяет более высокое (в 1,4–1,7 раз) содержание общего железа у этих почв, чем у дерново-карбонатных почв на элювии плотных карбонатных пород. Если опираться на кларки химических элементов, то обычно фоновым значением (по кларку) считается для марганца 800–850 мг/кг, для железа – 38000–47000 мг/кг. Для исследованных нами крымских почв среднее содержание железа составляет около 35000 мг/кг, хотя на виноградниках в районе Алушты отмечены концентрации 44000–46000 мг/кг. С точки зрения эффективности виноградарства важным геохимическим индикатором выступает соотношение Cu/Fe, так как их антагонизм проявляется как Cu-индуцированный хлороз. В щелочных почвах железо находится в труднорастворимой форме и функциональный хлороз проявляется в нарушении процесса формирования хлорофилла в листьях. В условиях Молдовы на виноградниках, страдающих хлорозом, величина соотношения Cu/Fe составляет 0,011–0,019 (Лях, 1990). У почв южной части Крымского п-ова из-за более высокого содержания железа эти величины даже в максимальном своем выражении, как на Гераклеюмском п-ове (0,004–0,005), ниже.

Оценкой влияния длительности педогенеза на аккумуляцию тяжелых металлов в условиях ЮБК, выполненная путем сравнения с эталоном (почва на мысе Мартыян) девяти разновозрастных карбонатных почв на объектах, датированных в диапазоне от 25 до 1900 лет, установлено, что наибольшие темпы биогенной аккумуляции металлов при достижении квазиклиматского состояния характеризует следующий ранжированный ряд: $Cu > Ni > Ba > (Cr, Fe) > V$. Этот ансамбль элементов показывает, какие особенности фонового содержания тяжелых металлов в условиях крымского субсредиземноморья характеризовали местные почвы до начала их аграрного освоения. Не случайно такой перечень тяжелых металлов (за исключением свинца) отражает сверхнормативные концентрации в почвах современных виноградников ЮБК. Более медленными темпами в условиях природного почвообразования проходили процессы внутрипочвенного выветривания и накопления в верхних горизонтах почв таких элементов, как Pb, Sr, Mn, Zn, As, Co.

Разновозрастные карбонатные почвы отличаются от менее окисленных вариантов более высоким содержанием стронция, который, как известно ассоциирован с кальцием, и цинка, а также обеднением ряда элементов, представленных в порядке уменьшения: $Mn > Co > V > Fe > Pb > As$. При этом сравнении были исключены из анализа наиболее загрязненные почвы, которые представлены как антропогенно-преобразованные почвы в таблице 1. Отметим их геохимические особенности: А1 – пограничная застава XIX в. (Казарма Раевского), где почва имеет высокое содержание V, Pb, Fe, Co, Zn, Mn); А2 – развалины незаконченного строительства монастыря на м. Плака с высокой степенью загрязнения из-за Cr, Pb, Cu, Ni, As; А3 – основание часовни на месте усыпальницы князей Бороздиных и Гагариных XIX века, где у почвы установлены экстремально высокие концентрации цинка и свинца, концентрации мышьяка и бария выше ПДК, а также наибольшее содержание, чем у других объектов, стронция). Для двух из этих объектов получены максимальные суммарные оценки загрязнения среди всех изученных почв. Для А2 и А3 интегральные оценки загрязнения по модифицированной формуле Саета (тип В) – Zc составили 11 и 23 соответственно. Вне ампелоценозов разнообразные источники загрязнения почв в антропогенно измененных ландшафтах определяют формирование сходного спектра приоритетных поллютантов (с содержанием выше ПДК): $Pb > Zn > Cr > Ni > Cu > Co$. Отличие этого перечня заключается лишь в том, что в почвах под виноградниками меньшая опасность определяется содержанием цинка и кобальта.

Интегральные оценки загрязнения почв. Сравнивая результаты интегральных оценок загрязнения почв не только на основе часто применяемых величин ПДК, но и величин РФФ (по условиям карбонатности (As, Pb, Cr, Zn, Co, Cu) и типу растительности (As, Pb, Cr, Zn, Cu)) (табл. 3), установлено, что наиболее контрастные различия между группами изученных объектов обеспечивало использование РФФ, особенно при выборе в качестве эталонов почв,

сформированных под лесом, и при вычислении по формуле В. При учете всех использованных оснований для интегральных оценок загрязнения почв наибольшую «чувствительность» (большую дифференцированность между группами объектов) показала формула В, которой несколько уступает формула А. Таким образом, более объективно интегральные оценки загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами можно получить, если взамен уровней ПДК использовать обоснованные по местным эталонам величины РГФ и применять для расчета экологический показатель суммарного загрязнения, учитывающий соотношение элемента с классом опасности.

Таблица 3

Результаты интегральных оценок загрязнения почв тяжелыми металлами с применением предложенных формул расчета по величинам ПДК и регионального геохимического фона

Группы почв	Величины оценок			
	Формулы расчета			
	А	В	С	Д
с учетом ПДК				
V	3,5±0,3	4,7±0,3	3,1±0,2	4,2±0,3
F	2,0±0,5	3,2±0,7	1,9±0,4	3,1±0,6
A	5,3±2,3	8,5±3,6	3,9±1,4	6,5±2,2
на основе РГФ, учитывающего карбонатность почв				
V	4,7±0,6	5,2±0,9	3,9±0,3	4,7±0,7
F	3,7±0,7	5,7±0,9	3,4±0,6	5,3±0,8
A	4,7±1,7	6,2±2,2	4,2±1,4	5,3±1,5
на основе РГФ, учитывающего педогенез под лесной растительностью				
V	4,0±0,3	5,2±0,5	3,7±0,2	4,8±0,5
F	2,6±0,4	3,3±0,6	2,5±0,3	3,0±0,4
A	10,1±4,0	12,8±5,6	8,0±2,6	9,0±3,1
на основе РГФ, учитывающего педогенез под степной растительностью				
V(CH)	4,1±0,2	5,3±0,2	3,7±0,2	4,8±0,2
F	5,0±0,4	6,4±0,8	4,3±0,3	5,4±0,6

Примечание к таблице. Формулы: А – показатель Саета (по группе элементов (Cr, Cu, Zn, Pb) с коэффициентами концентрации $K_k > 1$); В – экологический показатель с учетом поправок на токсичность; С – индекс загрязнения путем расчета среднего геометрического значения; Д – модификация формулы С, учитывающая токсичность тяжелых металлов. V – современные виноградники, в том числе V(CH) на Гераклеийском п-ове; F – постантичные залежи; А – антропогенно-преобразованные почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования почв под современными виноградниками вдоль южной периферии Крымского п-ова показали, что из 29 обследованных верхних горизонтов коричневых щебнистых почв 8 наиболее загрязненных из них (по нескольким вариантам оценки степени опасности с учетом ПДК) имеют близкие величины суммарного загрязнения по объектам из районов ЮБК и Гераклеийского п-ова. Однако из 12 тяжелых металлов и металлоидов можно выделить элементы-маркеры, различающие эти два района: почвы ЮБК отличаются превышением уровней ПДК по содержанию V, Pb, Fe и имеют более значительные величины превышений по Cr и Ni, а для почв Гераклеийского п-ова отмечается более высокая величина превышения ПДК по Cu. Замена принятых ПДК на более точные оценки с использованием регионального геохимического фона, учитывающего различия по карбонатности почв, показала, что на виноградниках интенсивного типа величины

суммарного загрязнения у почв Гераклеийского п-ова больше, чем у почв ЮБК, в 1,3–2,4 раза (в зависимости от формул расчета). Установлено, что наибольшие угрозы загрязнения почв под крымскими виноградниками определяются аккумуляцией ванадия, меди и хрома, которые можно считать приоритетными в системе агроэкологического мониторинга почв.

При обосновании регионального геохимического фона учет различий и по карбонатности почв, и по типу растительности, их сформировавшей, показывает перспективность такого подхода, так как результаты исследований вблизи мыса Айя показали, что потенциальное плодородие природных коричневых почв, сформированных под степной растительностью, выше, чем у почв под лесом, за счет более высокого содержания элементов, необходимых растениям: $Mn > P > Cu > Ni > Zn > Fe$.

Благодарности. Авторы выражают признательность к.г.н. Э. А. Терехину и А. О. Полетаеву за содействие при организации и проведении полевых исследований и к.и.н. С. Г. Колтухову за помощь в археологических датировках.

Список литературы

- Агаджанова Н. В., Изосимова Ю. Г., Костенко И. В., Красильников П. В. Индикаторы почвообразовательных процессов в красноцветных глинистых почвах заповедника мыс Мартьян, южный Крым // Почвоведение. – 2021. – № 1. – С. 3–16.
- Битюцкий Н. П. Микроэлементы высших растений. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2011. – 368 с.
- Бондарева Л. В. Научное обоснование создания ботанического заказника «Караньский» (Гераклеийский полуостров) // Заповедники Крыма: заповедное дело, биоразнообразие, экообразование: Материалы III научной конференции (Симферополь, 22 апреля 2005 г.). – Симферополь: Крымская Республиканская Ассоциация «Экология и мир», 2005. – С. 145–150.
- Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 85 с.
- Водяницкий Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1276–1280.
- Ганцев В. К. Производственные мощности средневековых скальных виноградодавилен юго-западного Крыма // Ученые записки Крымского федерального ун-та им. В.И. Вернадского. Исторические науки. – 2021. – Т. 7 (73), № 2. – С. 53–65.
- Гончарук Е. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. – М.: Изд-во «Медицина», 1986. – 320 с.
- Заниздра М. Ю. Методы и практика применения экологического форсайта: аналитический обзор // Экономика промышленности. – 2020. – №2 (90). – С. 93–115.
- Зеленская Е. Я., Маринина О. А. Геоэкологическая оценка почв в основных районах виноградарства Крымского полуострова // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 2. – С. 258–268.
- Иванов А. В. Крепости и замки Южного берега Крыма. Мир крымского средневековья. – Симферополь: БиблексТМ, 2008. – 288 с.
- Кирилюк В. П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. – Ch: Pontos, 2006. – 156 p.
- Климатический атлас Крыма / Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма». – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.
- Красная книга города Севастополя / В. В. Александров, С. В. Алемов, С. В. Арефьев [и др.]. Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. – Калининград: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом «РОСТ-ДООАФК», 2018. – 432 с.
- Лисецкий Ф.Н., Зеленская Е.Я. Амбелопедологические особенности географических районов виноградарства Крыма // Почвоведение. – 2022. – № 12. – С. 1540–1556. DOI: 10.31857/S0032180X22600688.
- Лисецкий Ф. Н., Маринина О. А., Бурак Ж. А. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2017. – 432 с.
- Лопина Е. М., Зеленская Е. Я. Геохимические особенности транслокации элементов в системе «почва-растение» по результатам изучения географических районов виноградарства Крыма // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 3. – С. 431–440.
- Лях Т. Г. Необходим контроль за динамикой загрязненности почв // Земледелие. – 1990. – № 2. – С. 25–26.
- Мальшев А. В. Особенности воспроизводства почв на залежах в различных физико-географических условиях Белгородской области // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 1. – С. 40–50.
- Николаенко Г. М., Смекалова Т. Н., Терехин Э. А., Воскресенская Е. Н., Лебединский В. В., Пасуманский А. Е. Атлас ближней хоры Херсонеса Таврического. Т. II. – Санкт-Петербург: Издательство «Алетей», 2022. – 312 с., 668 ил.

Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.

Плугатарь Ю. В., Багрикова Н. А., Белич Т. В. и др. Природный заповедник «Мыс Мартыян». – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2018. – 104 с.

Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. – М.: Мир, 1990. – 319 с.

Чернова О. В., Бекецкая О. В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы) // Почвоведение. – 2011. – № 9. – С. 1102–1113.

Cordova C. Crimea and the Black Sea: An environmental history. London; New York: I. B. Tauris, 2016. – 235 p.

Lieskovský J., Kenderessy P. Degradation of traditional vineyards in Slovakia by abandonment and soil erosion: A case study of Vráble // Land Degradation & Development. First published: 28 August 2022. – URL: <https://doi.org/10.1002/ldr.4446>.

Semenkov I., Koroleva T. Heavy metals content in soils of Western Siberia in relation to international soil quality standards // Geoderma Regional. – 2020. – Vol. 21. – e00283.

Vaudour E., Costantini E., Jones G. V., Mocali S. An overview of the recent approaches to terroir functional modelling, footprinting and zoning // Soil. – 2015. Vol. 1, N 1. – P. 287–312.

Yang T., Liu Q., Chan L., Cao G. Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoils around the East Lake, Wuhan, China // Geophys. J. Int. – 2007. – Vol. 171. – P. 603–612.

Lisetskii F. N., Zelenskaya E. Ya. Differences in the content of heavy metals in the soils of the Southern coast of Crimea (spatio-temporal analysis) // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 81–91.

High agrochemical loads and, in particular, specific sources of heavy metals in soils under vineyards determine the relevance of assessing the degree of danger using various approaches to the basis of comparison (MPC, APC, regional geochemical background (RGB)). The purpose of the study was to perform a spatiotemporal analysis of agrosequences and chronosequences of soils according to the content of 12 heavy metals and metalloids (As, Pb, Zn, Cr, Co, Ni, Cu, V, Sr, Mn, Ba and Fe) in the zone distribution of cinnamon mountain gravelly soils along the southern periphery of the Crimean Peninsula. The objects of the study were modern vineyards on the lands of the South Coast and in the historical region of viticulture (the chora of Tauric Chersonesos), where 70 soil samples of post-antique deposits were also selected in well-preserved land plots. Soils of different ages, which were dated according to historical and archaeological data (n·10, n·100, n·1000 years), were compared with reference soils under forest and steppe vegetation (Cape Martyan, west of Cape Aya), which made it possible to substantiate RGB on the content of heavy metals and metalloids. The results of the natural and anthropogenic evolution of soils can reflect more adapted to local conditions such approaches to integral assessments of soil pollution with heavy metals, if instead of MPC values of the RHF are used, which will be justified according to local standards, and when calculating the environmental indicator of total pollution, hazard classes will be taken into account (correction coefficients for the toxicity of elements). Without ecologization of the established practice of viticulture, a larger excess content of such heavy metals and metalloids as Pb, Cr, Zn, Cu and As is predicted in the Crimean soils.

Key words: heavy metals, ecological regulation, cinnamon soils, Crimean Peninsula.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 18.12.22

УДК 574/577

Об установлении в справочниках «Наилучшие доступные технологии» технологических показателей содержания в стоках технологических установок загрязняющих веществ, влияющих на снижение объёмов образования отходов

Мещурова Т. А., Ходяшев М. Б.

*Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем
Пермь, Россия
tmeshurova@mail.ru*

Низкий уровень очистки полного объёма образующихся сточных вод от многопрофильных производств является существенным фактором, влияющим на степень негативного воздействия на водные объекты. В статье представлены результаты анализа материалов отраслевых информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям в части использованных методов очистки сточных вод. Для исследования взяты восемь справочников, которые будут актуализироваться в 2023 году в соответствии с утверждённым графиком. Рассмотрены применяемые в разных отраслях существующие подходы к обращению со сточными водами и содержащимися в них загрязняющими веществами с целью минимизации объёмов образования отходов. Выявлено, что в основном предложенные наилучшие доступные технологии в отраслевых справочниках нацелены на снижение уровня загрязнения сточных вод, повторное использование их, на удаление из стоков определённых загрязняющих веществ. Проведенное исследование состава образующихся сточных вод при работе различных установок на промышленных производствах показало, что для них характерны взвешенные вещества (улавливаемые при очистке сточных вод в виде твёрдых веществ), которые могут стать причиной, влияющей на увеличение образования отходов. Подготовлены предложения по установлению в ряде отраслевых справочников технологических показателей содержания в стоках технологических установок загрязняющих веществ, обеспечивающих снижение объёмов образования отходов. Их реализация будет способствовать уменьшению негативного воздействия на водные объекты.

Ключевые слова: очистка сточных вод, производство, информационно-технические справочники наилучших доступных технологий, водные объекты, технологические установки.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных современных экологических проблем, которая несёт потенциальную опасность для людей и окружающей среды, является накопление отходов. По данным Росприроднадзора в 2021 году в Российской Федерации образовано 8,45 млрд т промышленных отходов, ежегодно их количество увеличивается (Наши рекорды..., 2022). В число главных задач современности входит «предотвращение отрицательного воздействия отходов на окружающую среду и здоровье человека на основе сокращения количества образующихся отходов и их максимальное вовлечение в хозяйственный оборот в качестве источника вторичных материальных и энергетических ресурсов с целью сохранения и экономии первичных природных ресурсов» (Модельный закон..., 2007).

Накопление отходов, их несвоевременная утилизация способствуют загрязнению различных видов экосистем. Низкий уровень очистки полного объёма образующихся сточных вод от многопрофильных производств является существенным фактором, влияющим на степень негативного воздействия на водные объекты. Наилучшие доступные технологии (НДТ) в области очистки сточных вод призваны ограничить образование отходов на промышленных предприятиях (или вторично использовать, утилизировать, обезвредить их). Немаловажное значение для минимизации образования отходов при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях имеет определение обоснованных и утвержденных в установленном порядке значений технологических

показателей в отношении сбросов загрязняющих веществ в стоках технологических установок, а также соблюдение их в процессе производственной деятельности. Это целесообразно учесть при пересмотре (актуализации) информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ).

Цель настоящего исследования – разработать рекомендации для установления технологических показателей сбросов загрязняющих веществ в стоках технологических установок, влияющих на снижение образования отходов, для ряда отраслей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовался электронный ресурс бюро наилучших доступных технологий, перечень информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (Бюро..., 2022). База бюро НДТ содержит тексты всех утвержденных справочников НДТ (51 ИТС НДТ).

Нами проведен анализ материалов отраслевых информационно-технических справочников НДТ (Бюро..., 2022) в части использованных методов очистки сточных вод, обеспечивающих минимизацию образования отходов в стоках от технологического оборудования. Изучался состав сточных вод, подходы к обращению с ними в различных отраслях. Для исследования взяты 8 ИТС НДТ, которые будут актуализироваться в 2023 году в соответствии с поэтапным графиком актуализации информационно-технических справочников по НДТ, утверждённым распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.04.2019 № 866-р (Об утверждении..., 2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В большинстве отраслей, описанных в анализируемых вертикальных (отраслевых) справочниках НДТ, применяются деструктивные физико-химические методы (нейтрализация, химическое осаждение), электродиализ и ионный обмен (регенеративные физико-химические методы), отстаивание, флотация, фильтрация (ультрафильтрация, на фильтр-прессах, с использованием песчаных фильтров), обратный осмос, регенеративные физико-химические методы (сорбция, ионный обмен, электролиз, физическая активация УФ-облучением, коагуляция), безреагентные методы физико-механической обработки и др. На многих предприятиях различных отраслей внедрено повторное использование воды, практикуется оборотное водоснабжение (ИТС 4-2015, ИТС 23-2017, ИТС 41-2017, ИТС 44-2017, ИТС 45-2017). Сточные воды предварительно очищаются от загрязняющих веществ и направляются на повторное использование в производстве (путем кондиционирования по материалам ИТС 23-2017 «Добыча и обогащение руд цветных металлов»; после процеживания твердых веществ, после тщательной обработки, например, мембранной сепарации и (или) дезинфекции по информации ИТС 45-2017 «Производство напитков, молока и молочной продукции») (Бюро..., 2022).

Наряду с этим в анализируемых информационно-технических справочниках НДТ для очистки стоков и минимизации объёмов содержащихся в сточных водах отходов на ряде предприятий представлены такие методы и приемы, которые используются только в определенных отраслях (например, в ИТС 41-2017 «Интенсивное разведение свиней», ИТС 44-2017 «Производство продуктов питания» и другие).

По информации ИТС 23-2017 «Добыча и обогащение руд цветных металлов» остается нерешённой проблема глубокой очистки больших объёмов сточных вод обогатительных фабрик от нефтепродуктов. В отрасли применяются цементация и сульфидно-купоросный метод очистки растворов от мышьяка.

В ИТС 41-2017 «Интенсивное разведение свиней» описаны приемы и подходы, применяемые при очистке сточных вод (или снижении содержания в них загрязняющих веществ) при активном разведении свиней (Бюро..., 2022):

– рациональное кормление, уменьшение уровня сырого белка;

- очистка слегка загрязнённой воды растениями для уменьшения концентрации загрязняющих веществ;
- сбросной канал (фильтруются дерном взвешенные наносы, поглощаются нутриенты);
- сконструированная болотная экосистема;
- специализированная система первого смыва;
- переработка жидких фракций из отстойников и применение в оросительной системе (в том числе дождевой воды с дворовой территории).

На предприятиях убоя животных, на мясокомбинатах (ИТС 43-2017) проводится значительная часть мероприятий по очистке сточных вод от жиров в разных цехах (применяют жируловители, дегидраторы), удалению биогенных элементов, внедрена автоматизированная система управления процессами на локальных очистных сооружениях (ЛОС). В данной отрасли промышленности применяются особые меры для снижения отходов в производственных водах, подробно описанные в ИТС 43-2017. Например, внедрение удаления содержимого желудков крупного рогатого скота сухим способом, без использования воды; различные методы по очистке стоков от жиров; приемы по обращению с навозосодержащими стоками (разделение на фракции, обезвоживание). При очистке сточных вод для уменьшения содержания отходов в стоках на производстве продуктов питания (ИТС 44-2017) также используются жиρο- и маслоуловители (Бюро..., 2022).

В результате анализа ИТС НДТ выявлено, что в основном предложенные наилучшие доступные технологии в отраслевых справочниках нацелены на снижение уровня загрязнения сточных вод, повторное использование их, на удаление из стоков определенных загрязняющих веществ.

Представило интерес исследовать состав образующихся сточных вод при работе различных установок на ряде промышленных производств и выяснить, какие загрязняющие вещества могут влиять на объёмы образования отходов.

Согласно ГОСТ Р 56828.15-2016 установка – это совокупность технологического оборудования, на котором осуществляется один или несколько технически связанных видов деятельности на конкретной площадке (Наилучшие..., 2016). Были рассмотрены и изучены по анализируемым отраслевым справочникам НДТ такие установки и загрязняющие вещества в сточных водах, образующиеся в результате работы технологического оборудования на различных производствах.

Проведенный анализ источников загрязнения сточных вод (технологических установок, оборудования, линий, процессов) и загрязняющих веществ показал, что в результате работы установок (совокупности технологического оборудования) при осуществлении деятельности в разных отраслях промышленности (ИТС 4-2015, ИТС 23-2017, ИТС 41-2017, ИТС 43-2017, ИТС 44-2017, ИТС 45-2017) в стоках присутствуют взвешенные вещества. Именно взвешенные вещества могут стать причиной, влияющей на объёмы образования отходов.

В соответствии с Федеральным законом от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (Об отходах..., 1998) «отходы производства и потребления – вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с настоящим Федеральным законом».

На основании статьи 2 Модельного закона «Об отходах производства и потребления» (новая редакция) отходами производства считаются остатки сырья, материалов, веществ, полуфабрикатов, изделий и иных продуктов, образовавшихся в процессе производства продукции и (или) выработки энергии или выполнения работ (услуг) и утративших полностью или частично исходные потребительские свойства; и другие, в том числе улавливаемые при очистке сточных вод твёрдые вещества; сельскохозяйственные отходы (Модельный закон..., 2007). По данным большинства отраслевых производств (по материалам информационно-технических справочников НДТ) для сточных вод характерны взвешенные вещества (улавливаемые при очистке сточных вод твёрдые вещества). Необходимо их учитывать и устанавливать технологические показатели содержания взвешенных веществ в стоках технологических установок.

С целью подготовки предложений по установлению в отраслевых справочниках технологических показателей содержания в стоках технологических установок загрязняющих веществ, влияющих на снижение объёмов образования отходов, проведена сверка наличия в анализируемых отраслевых ИТС НДТ технологических показателей для сбросов загрязняющих веществ в водные объекты. В результате составлена таблица 1.

Таблица 1

Данные о наличии в анализируемых отраслевых информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ) технологических показателей для сбросов загрязняющих веществ в водные объекты

Название ИТС НДТ	Наличие технологических показателей в справочнике НДТ	Примечание
ИТС 4-2015 «Производство керамических изделий»	Не установлены	Замкнутый цикл водопользования, повторное использование производственных вод
ИТС 23-2017 «Добыча и обогащение руд цветных металлов»	Установлены для взвешенных веществ, для ряда тяжёлых металлов в мг/л, рН (ед.)	Утверждены приказом Минприроды России от 02.04.2019 № 206
ИТС 41-2017 «Интенсивное разведение свиней»	Установлены для азота, аммоний-иона, калия, кальция, натрия, нефтепродуктов (нефти), нитрат-аниона, нитрит-аниона, сульфат-аниона в мг/л	Утверждены приказом Минприроды России от 21.05.2019 № 316
ИТС 42-2017 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы»	В справочнике не установлены	Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ не утверждены приказом Минприроды России
ИТС 43-2017 «Убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства»	В справочнике не установлены	Технологические показатели утверждены для технологий убоя животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях приказом Минприроды России от 11.07.2019 № 457 в мг/дм ³ для ХПК, БПК ₅ , взвешенных веществ
ИТС 44-2017 «Производство продуктов питания»	В справочнике не установлены	Технологические показатели утверждены для восьми производственных процессов приказом Минприроды России от 06.06.2019 № 355 в мг/дм ³ для большого количества загрязняющих веществ
ИТС 45-2017 «Производство напитков, молока и молочной продукции»	Установлены для аммоний-иона, нитрат-аниона, сульфат-аниона, фосфатов (по фосфору), хлорид-аниона (хлоридам), ХПК, БПК ₅ , взвешенных веществ, жиров, СПАВ в мг/дм ³ , рН (ед.)	Утверждены приказом Минприроды России от 12.04.2019 № 236 для восьми загрязняющих веществ в мг/дм ³ , кроме жиров, СПАВ и рН

Анализ таблицы показал, что не во всех отраслевых справочниках НДТ установлены технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ, в том числе взвешенных. Для соответствующих отраслей (ИТС 23-2017, ИТС 41-2017, ИТС 45-2017) они указаны в ИТС НДТ и утверждены приказами Минприроды России (Приказ № 206..., 2019; Приказ № 236..., 2019; Приказ № 316..., 2019).

Однако следует отметить, что по двум отраслям промышленности: для технологий убоя животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях и производства продуктов питания в 2019 году приказами Минприроды России (Приказ № 457..., 2019; Приказ № 355..., 2019) были утверждены технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ, соответствующие наилучшим доступным технологиям (табл.), а в справочниках НДТ они отсутствуют (ИТС 43-2017, ИТС 44-2017). Следовательно, при разработке комплексного экологического разрешения (КЭР) промышленные объекты по причине отсутствия технологических показателей в ИТС НДТ смогут использовать данные величины, установленные приказами Минприроды России (Приказ № 355..., 2019; Приказ № 457..., 2019). Это касается следующих отраслей:

- убоя животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях;
- производства продуктов питания.

В ИТС 42-2017 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы» по азоту и фосфору (по материалам данного справочника) для разных методов очистки и источников сброса указаны текущие эмиссии (после очистки) в водные объекты в мг/л, но технологические показатели не установлены (Бюро..., 2022).

В результате выполненного анализа состава сточных вод, методов очистки и подходов к обращению с ними, изучения данных о применении приемов для минимизации воздействия на водные объекты, обработки материалов по установленным технологическим показателям для сбросов загрязняющих веществ по соответствующим отраслям (ИТС НДТ, приказы Минприроды России) сформированы предложения по установлению в отраслевых справочниках НДТ технологических показателей содержания в стоках технологических установок загрязняющих веществ, обеспечивающих снижение объёмов образования отходов:

1) Рекомендуется установить при актуализации ИТС 4-2015 «Производство керамических изделий» технологический показатель содержания взвешенных веществ в стоках установок производства кирпича, выпуска облицовочной и напольной плитки, производства огнеупоров, санитарно-технических изделий из керамики, керамической посуды, технической керамики.

2) При актуализации ИТС 41-2017 «Интенсивное разведение свиней» рекомендуется установить технологический показатель содержания взвешенных веществ в стоках для всех источников сбросов.

3) Предлагается установить при актуализации ИТС 42-2017 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы» технологические показатели по взвешенным веществам, нитрат-аниону, нитрит-аниону, фосфатам для стоков (технологического оборудования при деятельности на конкретных площадках).

4) Рекомендуется установить при актуализации ИТС 43-2017 «Убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства» технологические показатели содержания взвешенных веществ, ХПК, БПК₅ в стоках технологических установок (производственных объектов) в соответствии с приказом Минприроды России от 11.07.2019 № 457.

5) При актуализации ИТС 44-2017 «Производство продуктов питания» рекомендуется установить технологические показатели содержания взвешенных веществ в стоках технологических установок (для производства колбасной и деликатесной продукции, полуфабрикатов, переработки и консервирования фруктов и овощей, производства растительных масел методом экстракции, производства маргариновой продукции, сахара) и технологические показатели других загрязняющих веществ в соответствии с приказом Минприроды России от 06.06.2019 № 355.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной научно-исследовательской работы разработаны предложения для установления в ряде информационно-технических справочников НДТ технологических показателей в отношении сбросов загрязняющих веществ в стоках технологических установок, реализация которых позволит минимизировать образование отходов при производстве продукции (товаров) и выполнении работ на крупных предприятиях, что будет способствовать уменьшению негативного воздействия на водные объекты.

Список литературы

Бюро наилучших доступных технологий. Перечень информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям. – 2022. – Режим доступа: <http://burondt.ru/its> (просмотрено 08.09.2022).

Модельный закон (новая редакция) «Об отходах производства и потребления»: принят на XXIX пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ: постановление от 31.10.2007 № 29-15. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

Наилучшие доступные технологии. Термины и определения: Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 56828.15-2016: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.10.2016 № 1519-ст. – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».

Наши рекорды: российские предприятия произвели самое большое количество мусора с 2002 года: данные FinExpertiza [Электронный ресурс]. – Сайт «Комсомольская правда». – 2022. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/27434/4636053/> (просмотрено 13.09.2022).

Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ: с изменениями 14.07.2022: принят Государственной Думой 22.05.1998: одобрен Советом Федерации 10.07.1998. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям: распоряжение Правительства РФ от 30.04.2019 № 866-р. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

Приказ Минприроды России от 02.04.2019 № 206 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий добычи и обогащения руд цветных металлов». – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».

Приказ Минприроды России от 12.04.2019 № 236 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий производства напитков, молока и молочной продукции». – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».

Приказ Минприроды России от 21.05.2019 № 316 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий интенсивного разведения свиней». – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».

Приказ Минприроды России от 06.06.2019 № 355 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий производства продуктов питания». – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».

Приказ Минприроды России от 11.07.2019 № 457 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях». – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».

Meshchurova T. A., Khodiashev M. B. On the establishment in the reference books of the BAT of technological indicators of the content of pollutants in the effluents of technological installations that affect the reduction of waste generation // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 92–98.

The low level of purification of the total volume of wastewater generated from multidisciplinary industries is a significant factor affecting the degree of negative impact on water bodies. The article presents the results of the analysis of materials of industry information and technical reference books on the best available technologies in terms of the used methods of wastewater treatment. Eight reference books were taken for the study, which will be updated in 2023 in accordance with the approved schedule. The existing approaches applied in various industries to the treatment of wastewater and pollutants contained in them in order to minimize the volume of waste generation are considered. It has been revealed that the proposed best available technologies in industry reference books are mainly aimed at reducing the level of wastewater pollution, reusing them, and removing certain pollutants from wastewater. The conducted study of the composition of wastewater generated during the operation of various installations in industrial production showed that they are characterized by suspended substances (captured during wastewater treatment in the form of solids), which can cause an increase in waste generation. Proposals have been prepared to establish in a number of industry reference books technological indicators of the content of pollutants in the effluents of technological installations, ensuring a reduction in the volume of waste generation. Their implementation will contribute to reducing the negative impact on water bodies.

Key words: wastewater treatment, production, information and technical reference books of the best available technologies, water objects, technological installations.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 30.12.22

УДК 591.9

Динамика и современное состояние видов наземных беличьих – *Marmota kastschenkoi* Stroganov et Yudin, 1956 и *Spermophilus erythrogegens Brandt, 1841* – на юго-востоке Западной Сибири

Москвитина Н. С.¹, Жигалин А. В.^{1, 2}, Ковалевский А. В.³

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томск, Россия

mns_k@mail.ru; alex-zhigalin@mail.ru

² Дагестанский государственный университет
Махачкала, Россия

³ Кемеровский государственный университет
Кемерово, Россия
passer125@ya.ru

Лесостепной сурок и краснощекий суслик на юго-востоке Западной Сибири претерпели сокращение численности и трансформацию структуры населения, характеризующейся фрагментированностью. Состояние популяций видов особенно критично на северных пределах ареалов: для лесостепного сурка – юг Томской области, для краснощекого суслика – северо-запад Кемеровской области. Современное критическое состояние изученных видов связано с различными аспектами деятельности человека: мероприятия по сокращению их численности как вредителей, добывание с целью использования шкурок, жира, мяса животных; разрушение среды обитания, преследование бродячими собаками. Томская популяция краснощекого суслика, появившаяся в конце прошлого века в результате расширения ареала вида, не подвергалась прессингу со стороны человека и успешно существовала до 2010-х годов. Популяция прекратила свое существование из-за длительно не таявшего льда, нанесенного высоким паводком. В настоящее время оба вида относятся к числу особо уязвимых, требующих пристального мониторинга. Последнее обусловлено, в том числе, экосистемной значимостью. Установлено, что в Кемеровской и Новосибирской областях сокращение численности суслика привели к резкому ее снижению у светлого хоря. Одним из важнейших вопросов с точки зрения биоразнообразия остается систематический статус краснощекого суслика в Кемеровской области, где, предположительно, обитает отдельный вид.

Ключевые слова: *Marmota kastschenkoi*, *Spermophilus erythrogegens*, Западная Сибирь, ареал, численность, факторы среды.

ВВЕДЕНИЕ

Наземные беличьи – одна из групп, включающая виды, интересные с различных позиций, таких как фундаментальные вопросы эволюции, экологии, популяционной динамики и рационального использования. На юго-востоке Западной Сибири из четырех видов этой группы два – лесостепной сурок и краснощекий суслик – предложено отнести к категории так называемых «флаговых» (Скалон, Гагина, 2006), которым должно уделяться большое внимание и осуществляться «пиар», как наиболее заметным видам животных, используемых как флаг в тактике охраны окружающей среды. Биотопические предпочтения этих видов связаны с лесостепными, степными и предгорными ландшафтами, находящимися в пределах Новосибирской, Кемеровской, Томской областей и северными районами Алтайского края. На основе многолетних наблюдений исследователей сформировалось представление о неблагоприятном состоянии популяций видов и факторах, обусловивших эти тенденции (Лаптев, Юдин, 1952; Скалон, Гагина, 2004, 2006; Шилова, 2010; Формозов, 2013; Важов и др., 2016). Внимание к ним, как и к другим видам сурков и сусликов, обусловлено также их экосистемной значимостью, а необходимость мониторинга – изменениями в структуре и интенсивности факторов среды.

Цель работы – оценить динамику и современное состояние видов наземных беличьих – *Marmota kastschenkoi* Stroganov et Yudin, 1956 и *Spermophilus erythrogenys* Brandt, 1841 – на юго-востоке Западной Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сообщение подготовлено на основе собранных авторами полевых материалов, архивных данных лаборатории мониторинга биоразнообразия Томского государственного университета, анализа литературных источников и открытых баз данных.

Полевые исследования осуществлялись путём визуального обследования территории и наблюдения за животными. Всего проведено 23 выезда в места обитания изучаемых видов на территории Томской (г. Томск, Томский район) и Новосибирской (Болотнинский район) областях в 2020–2022 годах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лесостепной сурок *Marmota kastschenkoi* Stroganov et Yudin, 1956. В недавнем прошлом этот вид считался подвидом серого сурка *M. baibacina*. Изучение хромосомного полиморфизма выявило у него наличие 36 хромосом, что дало основание вкупе с морфологическими и ареологическими характеристиками считать его хорошо дифференцированным видом (Брандлер, 2003). В этом статусе сурок Кащенко рассматривается в сводке по таксономической ревизии палеарктических грызунов. (Krystufek, Vohralik, 2013). Типовой экземпляр (в подвидовом статусе) описан из окрестностей Томска (д. Лязгино), поэтому утверждение о недавнем обнаружении колонии на юге Томской области (Машкин, 2015) ошибочно. Поселения сурка на этой территории известны с середины прошлого века (Лаптев, Юдин, 1952) и сохраняются, как показано ниже, и в настоящее время. Реликтовый ареал вида укладывается в границы предгорной лесостепи Салаира и Колывань-Томской возвышенности (Тараненко, 2011).

Суммарное поголовье лесостепного сурка в пределах его ареала составляет около 13 тыс. зверьков (Машкин, 2015). Наименьшая плотность населения вида свойственна для краевой, северной части ареала в пределах юга Томской области (рис. 1). В середине прошлого столетия здесь было известно более 20 значительных по размерам колоний сурка (Лаптев, Юдин, 1952). Обследование территорий показало, что в настоящее время в местах бывших колоний сурка нет, но обнаруживается ряд новых находок, скорее всего, как результат выселения животных в результате преследования человеком.

В Кемеровской области, которая выглядит наиболее благополучно в отношении состояния популяций *Marmota kastschenkoi*, колонии и поселения сурка встречаются мозаично в лесостепной зоне Кузнецкой котловины. Большая их часть сосредоточена в северо-западных районах области (Поляков, Баранова, 2007). В Новосибирской области вид встречается в районах, граничащих с Кемеровской областью: Маслянинском, Искитимском, Тогучинском, Болотнинском (рис. 1). В Алтайском крае он отмечается в Заринском, Косихинском, Кытмановском, Первомайском и Тогульском районах (GBIF, 2021). Локальные популяции вида на территории этого региона требуют особого внимания как сильно страдающие от браконьерства и разрушения мест его обитания (Важов и др., 2016).

Активное преследование животных человеком выработало у них ряд «маскирующих» приспособлений. Так, в северной части ареала сурки размещают свои поселения на малодоступных крутых склонах, поросших густыми зарослями караганы, шиповника, спиреи. В Кемеровской области показан факт смещения пищевой активности на ночное время: с полуночи до 2 часов. Обладая разнообразным репертуаром акустических сигналов, ночью зверьки ограничиваются однократным, коротким свистом, а подчас вообще не издают никаких звуков. Зверьки затаиваются и не укрываются в норах. Отмечено снижение уровня воспроизводства (Поляков, Баранова, 2007).

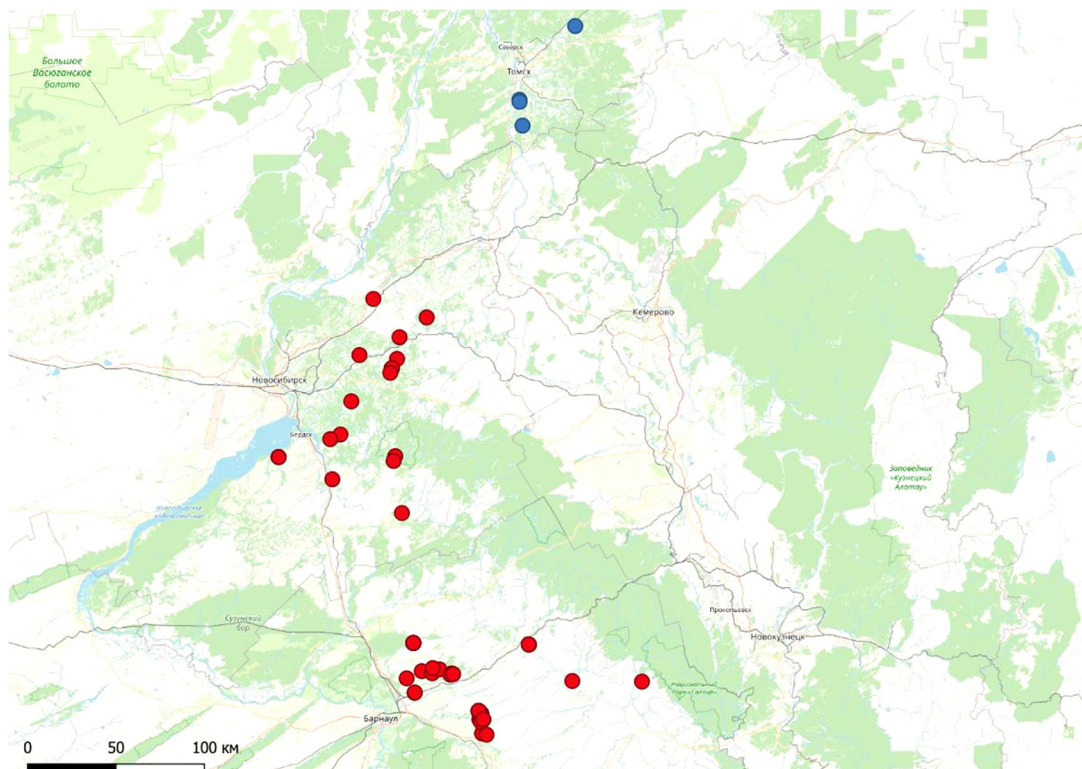


Рис. 1. Места регистрации лесостепного сурка

Условные обозначения: синие кружки – наши материалы; красные – данные из базы GBIF (2022).

В региональные Красные книги *Marmota kastschenkoi* внесен только в Томской области как вид с сокращающейся численностью, находящийся на северном пределе распространения (Красная книга Томской области, 2013). Тем не менее, состояние популяций вида в пределах всего реликтового ареала вызывает серьезные опасения.

Краснощекий суслик *Spermophilus erythrogenys* Brandt, 1841. На юго-востоке Западной Сибири краснощекий суслик фрагментарно встречается в Новосибирской, Кемеровской областях и в Алтайском крае (рис. 2).

В XX веке краснощекий суслик заметно расширял свой ареал (Гынгазов, Шубин, 1972; Кириянов, 1974), за 70 лет продвинувшись на север почти на 200 км. Высокая численность вида обеспечила пространственную дисперсию, вплоть до преодоления зверьками р. Томь (Москвитин, Москвитина, 1998) и позволило сформироваться изолированной правобережной популяции. С ростом численности проявилось свойство краснощекого суслика как злостного вредителя. История борьбы с ним и последствия использования различных способов и средств, в том числе и специально полученных штаммов эризипелоида и сальмонеллеза, прослежена в Кемеровской области (Скалон, Гагина, 2004; Красная книга Кузбасса, 2021). Способом истребления вида стали и массовые заготовки шкурок, начавшиеся в регионе с 1920-х годов. Только в Кемеровской области за 35 лет этой кампании было заготовлено 13,3 млн. шкурок. В Новосибирской области, где вид был многочислен в степных и лесостепных ландшафтах, за 26 лет было заготовлено 2304311 шкурок этого вида, и динамика заготовок (рис. 3) свидетельствует о неуклонном сокращении численности вида. Следует подчеркнуть, что этот процесс сказался на заготовках светлого хоря, для которого суслик был основой рациона.

С начала 1990-х годов в Кузнецкой котловине отмечается глубочайшая многолетняя депрессия вида (Скалон и др., 2005). Необходимо отметить, что в этот период изолированная «томская» популяция, не подвергаясь воздействию деятельности человека, успешно существовала на северном пределе распространения (Москвитина и др., 2004). Крах этой

популяции произошел в 2010, когда значительная часть животных не вышла из зимней спячки из-за длительно не таявшего льда, нанесенного высоким паводком (Агафонова и др., 2012).

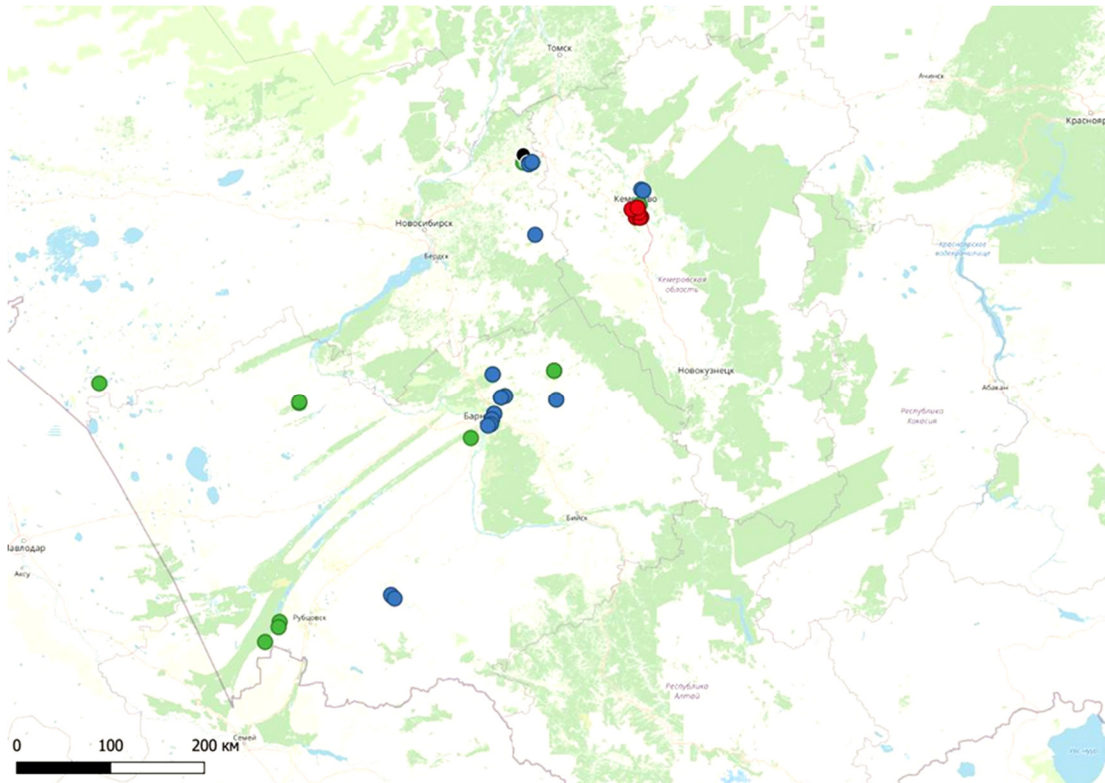


Рис. 2. Места регистрации краснощекого суслика на юго-востоке Западной Сибири
Условные обозначения: черный и красный кружки – наши данные, зеленые – сведения из базы GBIF (2021); синие – материалы из базы «Млекопитающие России» (2021).

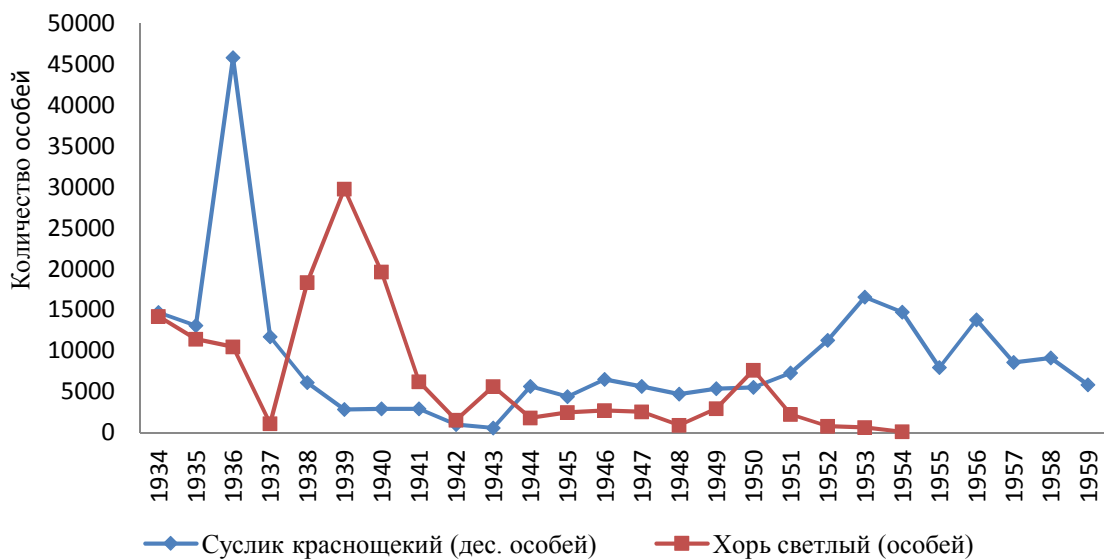


Рис. 3. Динамика добычи краснощекого суслика и светлого хоря в Новосибирской области в 1934–1959 годы (по данным заготовительных контор Облпотребсоюза)

На состояние популяций вида сильно повлияла масштабная распашка целинных и залежных земель. Одним из механизмов снижения численности стало уменьшение интенсивности размножения. Так, в Кулундинской степи до распашки целинных земель на одну самку приходилось 10,6 эмбриона, а после того, как суслики оказались в субоптимальных биотопах, этот показатель снизился до 8,4 эмбриона (Кириянов, 1972). Сходные эффекты отмечены для обыкновенного хомяка (Surov et al., 2016). Повсеместное сокращение в сибирских областях численности скота (Росстат, 2022) влечет за собой исчезновение пастбищ как одной из важнейших причин изменения среды обитания животных.

К настоящему времени в Алтайском крае вид из числа вредителей перешел в «потерпевшие»: на протяжении 5,5 тысяч км вместо сплошных поселений было отмечено лишь 9 колоний (Формозов, 2013). В Кемеровской области *Spermophilus erythrogegnys* внесен в Красную книгу как вид I категории редкости: из отмечаемых ранее 17 поселений сохранилось 3 (17,6 %). По официальной информации его численность оценивается примерно в 250 особей. В Новосибирской области в настоящее время он отмечается в лишь Болотнинском, Карасукском и Тогучинском районах (Млекопитающие России, 2021; GBIF, 2021; наши данные). В Томской области вид исчез, тем самым северная граница ареала вернулась на левобережье Томи.

Таким образом, краснощекий суслик, имевший в XX столетии высокую численность и активно расширявший свой ареал, в настоящее время повсеместно становится редким. Сценарий его судьбы аналогичен таковому для других видов, считающихся вредителями. Разрушая экосистемы, человек способствует увеличению численности отдельных видов (создает вредителей), затем мобилизует силы на борьбу с ними, а при сокращении численности, сужении ареала и изменении его структуры начинает разработку мер их сохранения. Практика показывает, что внесение видов в Красные книги чаще всего не гарантирует их защиту, а экосистемный подход, который среди рекомендуемых мер охраны звучит как «сохранение мест обитания», вступает в сильные противоречия с экономическим развитием административных единиц. В силу этого создание областных Красных книг, а не ландшафтно-экологических, не имеет должного эффекта.

Помимо проблем практического характера, связанного с охраной суслика, существует и фундаментальная. Для этого вида отмечается высокий уровень генетической изменчивости, а топология филогенетических деревьев убеждает в том, что *S. erythrogegnys* s. l., по всей вероятности, является сложным комплексом. В этом комплексе выделяют минимум три таксономические видовые единицы: *erythrogegnys* (правый берег Иртыша), *carruthersi* (Зайсанская впадина, Джунгарский Алатау) и форма с правого берега реки Обь (Кузнецкая котловина), которая по ядерным генам пока не идентифицирована (Erмаков et al., 2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состояние популяций изученных видов наземных беличьих на юго-востоке Западной Сибири в большинстве областей отличается негативной тенденцией, становясь критическим на северном пределе ареалов. Для обоих видов характерна фрагментация поселений, в том числе даже в тех местах, где ранее они были сплошными, как у суслика, или не испытывали особых проблем существования, как сурок. Современное критическое состояния изученных видов в регионе, как и в других местах, обусловлено различными аспектами деятельности человека, в различной мере проявляющихся для каждого из видов: заготовки шкур, мероприятия по сокращению численности как вредителей, добывание, в том числе браконьерское, с целью использования меха, жира, мяса животных; разрушение среды обитания, преследование бродячими собаками, исчезновение пастбищ.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2020-0019).

Список литературы

- Агафонова С. А., Беркович К. М., Рулева С. Н. Современные особенности морфологии русла и процессов заторообразования на реке Томь // Водное хозяйство России. – 2012. – № 6. – С. 21–33.
- Брандлер О. В. К видовой самостоятельности лесостепного сурка *Marmota kastschenkoi* Strogavov et Yudin, 1956 // Зоологический журнал – 2003. – № 12. – С. 1498–1505.
- Важов С. В., Бахтин Р. Ф., Важов В. М. О необходимости внесения лесостепного сурка в Красную книгу Алтайского края // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 3–1. – С. 55–57.
- Гынгазов А. М., Шубин Н. Г. О темпах расселения птиц и млекопитающих на территории Западной Сибири // Биология. Труды научно-исследовательского института биологии и биофизики при Томском ордена трудового Красного Знамени государственном университете имени В. В. Куйбышева. – Томск, 1972. – С. 11–16.
- Красная книга Томской области / [Ред. А. М. Адам] – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2013. – 504 с.
- Красная книга Кузбасса: Т. 2. / [Ред. Н. В. Скалон] – Кемерово: «ВЕКТОР-ПРИНТ», 2021, – 232 с.
- Кириянов Г. И. *Citellus erythrogeus* Brandt в Алтайском крае // Териология, Т. 2 / [Ред. Л. П. Познанин] – Новосибирск: Наука, 1972. – С. 289–290
- Лаптев И. П., Юдин Б. С. Сурок Томской области и его охрана // Труды Томского госуниверситета. – Томск, 1952. – Т. 118. – С. 107–130.
- Машкин В. И. Прошлое, настоящее и будущее сурков Евразии // Прошлое, настоящее и будущее сурков Евразии: сб. науч. трудов. – М.: 2015. – С. 13–28.
- Москвитин С. С., Москвитина Н. С. Анализ изменений ареалов млекопитающих на юго-востоке Западной Сибири // Биологическое разнообразие животных Сибири: материалы научной конференции (Томск, 28-30 окт. 1998.). – Томск, 1998. – С. 206–208.
- Москвитина Н. С., Агулова Л. П., Сучкова Н. Г., Шеломихин С. В. Некоторые черты экологии краснощекого суслика на северо-восточном пределе ареала // Сибирская зоологическая конференция. Тезисы докладов всероссийской конференции, посвященной 60-летию Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск, 15-22 сентября 2004 г.). – Новосибирск, 2004. – С. 292.
- Млекопитающие России [Электронный ресурс]. – 2017. Режим доступа: <https://rusmam.ru/> (дата обращения 03.11.2021).
- Поляков А. Д., Баранова В. В. Биология лесостепного сурка в условиях экологического прессинга // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 2. – С. 73–76.
- Скалон Н. Н., Гагина Т. Н. Спасать ли краснощекого суслика в Кузнецкой степи? // Степной бюллетень. – № 15. – С. 42–47.
- Скалон Н. В., Гагина Т. Н. Лесостепной сурок и краснощекий суслик как «флаговые» виды для сохранения и восстановления экосистем Кузнецкой степи // «Сурки в антропогенных ландшафтах Евразии». Тезисы докладов IX Международного Совещания по суркам стран СНГ. (г. Кемерово, 31 августа – 3 сентября, 2006 г.). – Кемерово, 2006. – С. 51.
- Тараненко Д. Е. Пространственные взаимоотношения двух видов сурков: *Marmota kastschenkoi* и *Marmota baibacina* (Rodentia, Sciuridae) // Вестник Сибирского гос. университета. Биология. – 2011. – Т. 3, № 4. – С. 220–228.
- Федеральная служба государственной статистики по Российской Федерации [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <httphttps://rosstat.gov.ru/folder/10705> (просмотрено 25.08.2022).
- Формозов Н. А. Суслики: из вредителей в потерпевшие // Наука из первых рук. – 2013. – Т. 52, № 4. – С. 113.
- Шилова С. А. Вопросы контроля численности и охраны сусликов России (род *Spermophilus*) // Аридные экосистемы. – 2011. – Том 17, № 4 (49). – С. 104–112.
- Ermakov O. A. Implications of Hybridization, NUMTs, and Overlooked Diversity for DNA Barcoding of Eurasian Ground Squirrels // PLOS ONE. – 2015. – N 10 (4). – P. 345–368.
- Global Biodiversity Information Facility / GBIF [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.gbif.org/> (дата обращения: 03.11.2021).
- Krystufek B. Taxonomic revision of the Palaearctic rodents (Rodentia). Part 2. Sciuridae: *Urocitellus*, *Marmota* and *Sciurotamias* / B. Krystufek, V. Vohralik // Lynx. – 2013. – Vol. 44. – P. 27–138.
- Surov, A., Banaszek, A., Bogomolov, P., Feoktistova, N., Monecke, S. Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus* // Endangered Species Research. – 2016. – Т. 31. – С. 119–145.

Moskvitina N. S., Zhigalin A. V., Kovalevsky A. V. Dynamics and current status of ground squirrel species – *Marmota kastschenkoi* Stroganov et Yudin, 1956 and *Spermophilus erythrogenys* Brandt, 1841 – in the south-east of Western Siberia // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 99–105.

The forest-steppe marmot and red-cheeked ground squirrel in the south-east of Western Siberia have undergone a reduction in the number and transformation of the population structure, characterized by fragmentation. The state of species populations is especially critical in the northern limits of the ranges: for the forest–steppe marmot – the south of the Tomsk region, for the red-cheeked ground squirrel – the north-west of the Kemerovo region. The current critical state of the studied species is associated with various aspects of human activity: measures to reduce their number as pests, extraction for the use of skins, fat, and animal meat; habitat destruction, stalking by stray dogs. The Tomsk population of the red-cheeked ground squirrel, which appeared at the end of the last century as a result of the expansion of the species' range, was not subjected to human pressure and successfully existed until the 2010s. The population ceased to exist due to long-term non-melting ice caused by high flood. Currently, both species are among the most vulnerable, requiring close monitoring. The latter is due, among other things, to ecosystem significance. It was found that in the Kemerovo and Novosibirsk regions, the reduction in the number of ground squirrels led to a sharp decrease in its number in the light polecat. One of the most important issues from the point of view of biodiversity remains the systematic status of the red-cheeked ground squirrel in the Kemerovo region, where, presumably, a separate species lives.

Key words: *Marmota kastschenkoi*, *Spermophilus erythrogenys*, Western Siberia, range, abundance, environmental factors.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 30.12.22

УДК 504.064.2

Радиоэкологическая обстановка на территориях городов и сельских поселений Краснодарского края

Плахотня Д. П., Костырев Б. П., Рачейсков Н. А., Шульга В. В., Бураева Е. А.

*Институт физики Южного федерального университета
Ростов-на-Дону, Россия
dplakhotnyaya@bk.ru*

Экологическая обстановка на природных и урбанизированных территориях в настоящее время достаточно нестабильна, поэтому необходимость комплексного мониторинга окружающей среды на территориях проживания людей приобретает все большее значение. Среди видов мониторинга объектов и территорий особое значение приобретает радиоэкологический мониторинг с целью обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды. Работа посвящена оценке радиоэкологической обстановки на территориях городских и сельских поселений Краснодарского края. Исследования проводились в 5 сельских поселениях и 6 городах, расположенных в Краснодарском крае в разных административных зонах и различных географических ландшафтах. Измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения проводились методом пешеходной гамма-съемки на улицах населенных пунктов на высоте 100 см от поверхности земли с помощью дозиметров-радиометров ДРБП-03 и ДКС-96 с блоком детектирования ДКС 96с. Средние значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в городах составляет 0,11 мкЗв/ч (при среднем геометрическом равном 0,10 мкЗв/ч), а в поселениях 0,14 мкЗв/ч (при среднем геометрическом равном 0,12 мкЗв/ч). Данные МЭД гамма-излучения во всех рассмотренных населенных пунктах соответствуют Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009, 2009). Подобных масштабных комплексных исследований на урбанизированных территориях Краснодарского края ранее не проводилось, поэтому данное исследование позволит оценить зависимость распределения мощности эквивалентной дозы на территориях городов и поселений от расположения этих территорий и степени их урбанизации.

Ключевые слова: радионуклиды, радиационный фон, мощность эквивалентная дозы, Краснодарский край.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных критериев оценки внешнего облучения человека является мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, которая формируется под действием нескольких факторов. Факторами, влияющими на ее численное значение, являются: космическое излучение; содержание естественных и искусственных радионуклидов в почвах, водоемах; радиоактивные эманации из почвы и солнечная активность (Орлов и др, 2015).

Большинство исследований, проводимых на территориях городских и сельских поселений, осуществляется для мониторинга предприятий ядерного топливного цикла или иных потенциально-опасных предприятий, поэтому исследованиям на урбанизированных территориях, неподверженных сильному радиационному воздействию, уделяется весьма мало внимания.

В Краснодарском крае проживает почти 5,2 миллиона человек, из которых 2,5 миллиона приходится на сельское население, а 2,7 на города. Сельское население по численности сопоставимо с городским, поэтому целесообразно проводить исследования не только в городах, но и в крупных, мелких и средних населенных пунктах. Поэтому данные о распределении МЭД на территориях Краснодарского края представляют интерес в плане определения радиационной обстановки на данных территориях.

Цель работы – установить особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях сельских поселений и городов Краснодарского края.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся приземный слой воздуха в городских и сельских поселениях Краснодарского края. Исследования проводились как в районных центрах, так и в крупных промышленных городах. Были выбраны тринадцать населенных пунктов: Стародеревянковское сельское поселение, станицы Ленинградская, Брювещкая, Староминская и Каневская, города Краснодар, Тихорецк, Новороссийск, Новокубанск, Анапа, Туапсе, Сочи и курорт Роза Хутор (рис.1).

Измерения проводились с использованием дозиметров радиометров, таких как: СРП-88н, ДРБП-03 и ДКС 96. Измерения проводились методом пешеходной гамма-съемки на высоте 1 м над поверхностью земли (ТЕ1.415313.003РЭ, 2015).



Рис. 1. Карта расположения исследуемых населенных пунктов

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В населенных пунктах на МЭД влияет очень много факторов, среди которых: материал дорожных покрытий, активность различных промышленных предприятий, расположенных поблизости, направленность деятельности, преимущественной для данной территории, и так далее.

На рисунках 2 и 3 отображены диаграммы размаха значений МЭД в разных населенных пунктах (НП), а в таблице 1 приведены статистические показатели для наглядного сравнения. Средние значения МЭД в городах и в станицах отличаются незначительно, однако минимальное значение МЭД в последних в несколько раз меньше, чем на городских территориях. Это может быть обусловлено тем, что измерения в НП проводились методом пешеходной съемки, а именно по улицам, поэтому некоторые значения МЭД будут несколько выше или наоборот много ниже среднего в зависимости от уровня развитости инфраструктуры.

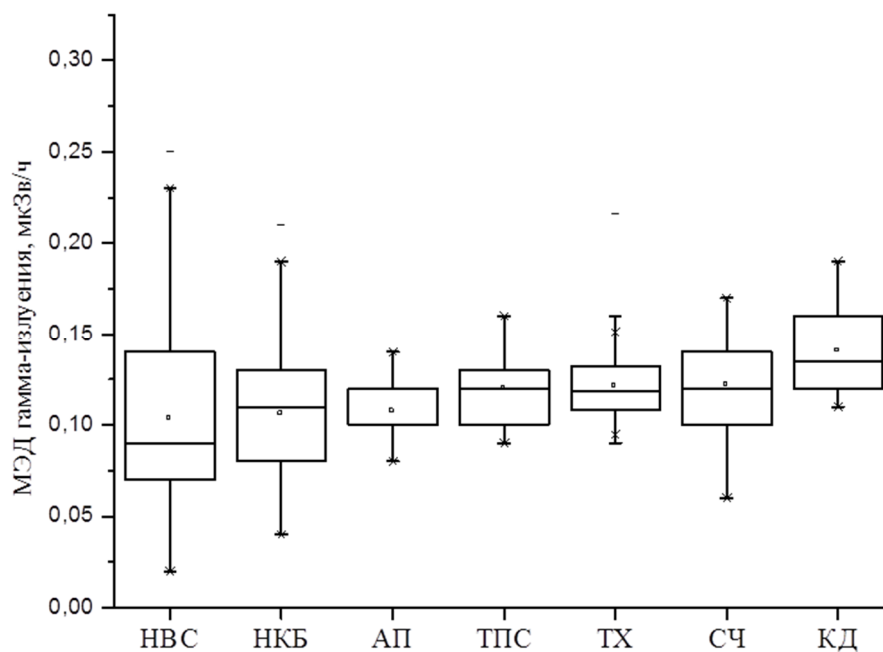


Рис. 2. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в городах
Условные обозначения: НВС – Новороссийск, НКБ – Новокубанск, АП – Анапа, ТПС – Туапсе, ТХ – Тихорецк, СЧ – Сочи, КД – Краснодар.

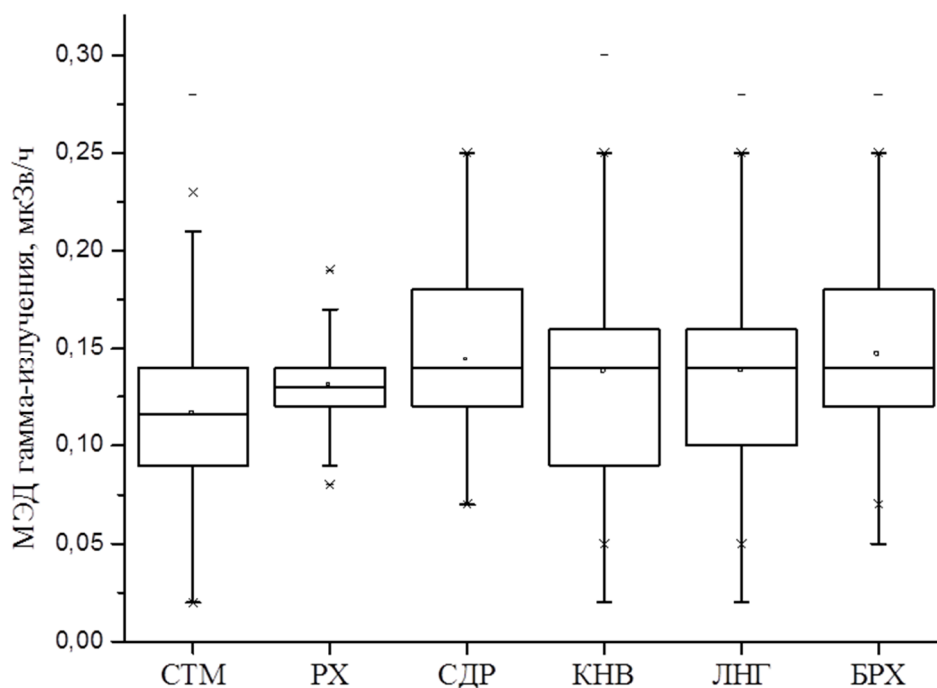


Рис. 3. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в станциях
Условные обозначения: СТМ – Староминская, РХ – Роза Хутор, СДВ – Стародеревянковская, КНС – Каневская, ЛНГ – Ленинградская, БХВ – Брюховецкая.

Таблица 1

Средние значения МЭД на территории городов и поселений Краснодарского края

Название населенного пункта	Численность, чел.	МЭД, мкЗв/ч			Погрешность
		Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	
Города					
г. Краснодар	773 970	0,14	0,11	0,19	0,03
г. Сочи	443 644	0,12	0,06	0,17	0,01
г. Новороссийск	275 197	0,10	0,02	0,25	0,002
г. Анапа	81 447	0,11	0,08	0,14	0,05
г. Туапсе	61 938	0,12	0,09	0,16	0,04
г. Тихорецк	55 243	0,12	0,09	0,21	0,002
г. Новокубанск	34 391	0,11	0,02	0,21	0,01
Сельские поселения					
ст. Каневская	44 386	0,14	0,02	0,30	0,002
ст. Ленинградская	36 940	0,14	0,02	0,28	0,002
ст. Староминская	29 809	0,12	0,02	0,28	0,01
ст. Брюховецкая	22 139	0,15	0,05	0,28	0,002
ст. Стародеревянк- ковская	12 998	0,14	0,07	0,25	0,002
Курорт Роза Хутор	курорт	0,13	0,08	0,19	0,03

Значения МЭД в большей части находятся в диапазоне от 0,10 мкЗв/ч до 0,20 мкЗв/ч, однако в некоторых населенных пунктах значения МЭД гамма-излучения выходят за рамки этого диапазона. Это может быть обусловлено различными факторами, начиная с места расположения участка, в котором проводились измерения, заканчивая объектами, которые могут располагаться на изучаемой территории. Так, например, в городе Анапа, курортном городе, в котором отсутствуют какие-либо большие промышленные производства, значения МЭД не превышают 0,15 мкЗв/ч.

На распределение МЭД влияет антропогенная деятельность, такая как производство и переработка фосфорных удобрений, сжигание углерода, ядерная энергетика и свалки радиоактивных отходов (Ghias et al., 2017).

Новороссийск и Туапсе – два важных города-порта на побережье Черного моря. Однако в Новороссийске значения МЭД выше из-за добычи цементного мергеля и наличия цементных заводов. Относительно высокие значения МЭД в этих районах можно объяснить тем, что уровень МЭД гамма-излучения формируется под воздействием нескольких факторов, в их числе находится и содержание естественных радионуклидов в почвах (UNSCEAR, 2008).

Станицы Ленинградская, Брюховецкая, Староминская и Каневская являются крупными районными центрами, расположенными в равнинной части Краснодарского края. Преобладающим типом почв для данных территорий является чернозем, поэтому большая часть деятельности относится к сельскохозяйственному производству, а именно к растениеводству. Антропогенное воздействие человека на данных объектах будет проявляться в повышении концентрации радионуклидов путем использования различных минеральных удобрений, поэтому максимальное значение МЭД гамма-излучения в станциях, несколько выше, что обусловлено выдуванием радионуклидов с верхнего слоя почвы.

Значения МЭД гамма-излучения в населенных пунктах не превышает допустимые, установленные Нормами радиационной безопасности (СанПиН 2.6.1.2398, 2009).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городских и сельских населенных пунктах Краснодарского края варьируется в пределах от 0,10 до 0,15 мкЗв/ч при среднем значении 0,13 мкЗв/ч. Широкий диапазон значений МЭД гамма-излучения может быть обусловлен неоднородностью территорий исследования – в большей степени, а также размерами участков исследования. Полученные результаты соответствуют среднемировым значениям и характерны для урбанизированных территорий.

Значения МЭД гамма-фона в городах и станицах не превышают Нормы радиационной безопасности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № 0852-2020-0032) / (БА30110/20-3-07ИФ).

Список литературы

Орлов П. М., Сычев В. Г., Жиленко С. В. Радиологический мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения Краснодарского края / П.М. Орлов // XXI ВЕК: ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО плюс. – 2015. – № 5. – С. 45–50.

ТЕ1.415313.003РЭ. Дозиметры-радиометры ДКС-96. Руководство по эксплуатации.

СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г.Г. Онищенко от 7 июля 2009 г. № 47 с 01 сентября 2009 г.

Ghias S., Ghias S. et al. Health risk assessment of radioactive footprints of the urban soils in the residents of Dera Ghazi Khan, Pakistan // Chemosphere. – 2021. – № 267. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129171> (просмотрено 25.07.2022).

United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation (2008): Report to General Assembly. – United Nations, New York, 2010. – P. 1-249.

Plakhotnyaya D. P., Kostyrev B. P., Racheiskov N. A., Shulga V. V., Buraeva E. A. Radioecological situation in urban and rural areas of Krasnodar Kray // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 106–110.

The ecological situation in natural and urbanized territories is currently quite unstable, so the need for comprehensive environmental monitoring in the territories of human habitation is becoming increasingly important. Among the types of monitoring of objects and territories, radioecological monitoring is of particular importance in order to ensure the radiation safety of humans and the environment. The work is devoted to the assessment of the radioecological situation in the territories of urban and rural settlements of the Krasnodar Territory. The research was conducted in 5 rural settlements and 6 cities located in the Krasnodar Territory in different administrative zones and different geographical landscapes. Measurements of the equivalent dose rate (MED) of gamma radiation were carried out by the method of pedestrian gamma-ray shooting on the streets of settlements at a height of 100 cm from the earth's surface using dosimeters-radiometers DRBP-03 and DKS-96 with a detection unit DKS 96c. The average values of the equivalent dose of gamma radiation in cities is 0.11 mSv / h (with a geometric mean equal to 0.10 mSv / h), and in settlements 0.14 mSv / h (with a geometric mean equal to 0.12 mSv / h). The MED data of gamma radiation in all the considered settlements comply with Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Such large-scale comprehensive studies have not been conducted in the urbanized territories of the Krasnodar Territory before, therefore, this study will allow us to assess the dependence of the distribution of equivalent dose capacity in the territories of cities and settlements on the location of these territories and the degree of their urbanization.

Key words: radionuclides, radiation background, equivalent dose rate, Krasnodar Region.

Поступила в редакцию 25.11.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 502.3: 374.1

Эффективные формы экологического просвещения: университетские субботы для школьников в вузовском музее

Попова Л. В., Пикуленко М. М., Таранец И. П.

*Научно-учебный Музей землеведения Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия
lypo.eco@mail.ru; pikulenkomarina@mail.ru; irina.taranets@icloud.com*

Экологическое просвещение населения является одной из важнейших составляющих системы непрерывного экологического образования, так как охватывает все общество. При этом естественнонаучные музеи, как просветительские центры, выполняют значимую роль в распространении экологических знаний. Чтобы добиться повышения эффективности экологического просвещения в музеях и привлечения в них большего числа граждан следует обратить внимание на использование разнообразных форм и методов просветительской работы. Вызвать интерес у посетителей музея к тематическим экскурсиям и занятиям возможно также на основе использования личностного и деятельностного подходов, когда создаются условия вовлечения в музейную образовательную среду для каждого посетителя. Сделать это возможно с помощью активных (интерактивных) методов обучения. Особое внимание таким методам обучения придают вузовские музеи, созданные, как правило, для работы со студентами, но в настоящее время проводящие большую просветительскую работу со школьниками – будущими абитуриентами вузов. В данной статье представлен анализ созданных методических разработок для тематических занятий, проведенных в музее землеведения МГУ в рамках многолетнего просветительского проекта г. Москвы «Университетские субботы». Показано, что эффективность тематического занятия достигается использованием в сочетании различных методов и методических приемов (квест, экскурсия, практикум, интерактивная игра, мастер-класс, беседа и др.), при этом эффективность оценивалась по двум критериям – это положительная реакция участников и получение ими новых знаний. Экологическое просвещение неотделимо от использования интерактивных методов обучения.

Ключевые слова: экологическое образование, экологическое просвещение, университетская суббота, музейная педагогика.

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX века по мере роста экологических проблем стала возрастать роль экологического образования и просвещения населения. После проведения в 1977 году в Тбилиси Первой Всемирной межправительственной конференции по вопросам образования в области окружающей среды и принятия Тбилисской Декларации стало очевидно, что необходимо создавать систему непрерывного экологического образования (Межправительственная конференция..., 1978), где экологическому просвещению отводилась особая роль, так как оно затрагивает все слои населения. Так, целью экологического просвещения явилось распространение среди населения полной, разносторонней и объективной информации о состоянии окружающей среды, формирование общественного мнения в защиту окружающей среды и рационального природопользования. Следовательно, просвещение – это процесс распространения знаний и информирования населения, что и осуществляют различные организации, в том числе и музеи. Отдельные мероприятия, проводимые музеями (экскурсии, проблемные лекции, творческие занятия, мастер-классы, практикумы, творческие квесты и др.), можно считать просветительскими мероприятиями. Образование более сложный процесс воспитания и обучения людей, поэтому образовательной деятельностью в музее является только реализация утвержденных обучающих программ, направленных на формирование определенных компетенций у обучаемых.

Просветительский проект «Университетские субботы» (УС) был создан Департаментом образования города Москвы в сентябре 2013 года и до сих пор пользуется большой популярностью среди школьников, студентов, педагогов и родителей с детьми. Направления проекта разнообразны и ориентированы на просвещение людей разных возрастов. В нем предусмотрены несколько форм посещения мероприятий: индивидуальные, групповые и семейные. На сегодняшний день мероприятия проводят не только в очном, но и в дистанционном формате (Субботы московского школьника, электронный ресурс). Особенность проекта – это его общедоступный характер. Любой заинтересованный человек, выбрав на сайте проекта интересное мероприятие может зарегистрироваться и бесплатно принять в нем участие. Сейчас на сайте Департамента перечень активностей еще стал шире. Появились возможности участвовать в IT субботах, Арт субботах, инженерных, медицинских, исторических, космических субботах и др., более 20 наименований (Новиков, 2016; Все проекты. Субботы московского школьника, электронный ресурс). Такой подход способствует расширению кругозора участников проекта, а также дает возможность школьникам познакомиться с конкретными вузами (Таранец, Шилкина, 2018).

Музей землеведения Московского государственного университета (МГУ) имени М.В. Ломоносова стал принимать участие в проекте «Университетские субботы» с 2014 года. Образовательное пространство музея позволило разработать и реализовать самые разные по тематике УС («Эволюция органического мира», «Узнай животных», «Москва – развивающийся мегаполис», «Симметрия в мире растений», «В поисках метеоритов» и др.). Во всех УС была задействована не только экспозиция музея с классической формой музейной педагогики – экскурсии или лекции, но и проведены практикумы, образовательные игры и мастер-классы, посетители работали с маршрутными листами, а в одной из УС был организован театр теней для маленьких зрителей. Но можно ли считать такие формы проведения УС эффективными с точки зрения достижения поставленной цели – повышения экологической грамотности участников мероприятия? Для ответа на данный вопрос нами проведен анализ разработанных методических материалов для каждого отдельного тематического занятия в рамках УС и рассмотрены отзывы участников.

Цель статьи – проанализировать эффективность просветительского проекта «Университетские субботы», реализуемого в научно-учебном музее землеведения Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данной статьи явились методические разработки занятий, созданные в музее землеведения МГУ специально для проекта «Университетские субботы», и результаты их апробации (отзывы участников мероприятий, учет мнения преподавателей, проводивших занятия). Нами проведен анализ методических разработок тематических занятий в рамках проекта УС на предмет количества и разнообразия используемых интерактивных элементов, а также выполнено ранжирование мнений посетителей (участников) УС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Научно-учебный Музей землеведения МГУ включился в реализацию проекта «Университетские субботы» с 2014 года, за это время специально для данного проекта сотрудниками музея были разработаны и проведены 14 различных тематических занятий (табл.1). Все эти занятия включали природоохранный аспект, следовательно, можно считать, что они способствовали экологическому просвещению населения.

Разработка всех тематических занятий объединяет единый подход – взаимодействие с посетителями на основе организации их самостоятельной работы. Именно личное участие в конкретной деятельности способствует лучшему приобретению знаний и навыков. В целом, алгоритм проведения тематических занятий выглядит следующим образом:

- встреча посетителей,

- введение (представление ведущих преподавателей, разъяснение плана занятий),
- лекционная или экскурсионная часть (в зависимости от темы занятия могла занимать от 30 до 40 минут),
- практическая работа (самостоятельная работа школьников индивидуально или в группе, квест, мастер-класс и др.),
- проверка выполненных заданий и ответы на вопросы слушателей,
- заключительная часть.

Таблица 1

Формы и даты проведения тематических занятий в музее в рамках проекта
«Университетские субботы»

№	Тема занятия	Дата проведения	Форма проведения
1	Приспособление организмов к условиям окружающей среды	11.10.2014	Экскурсия и практическое занятие
2	Развитие и эволюция органического мира	04.04.2015	Экскурсия и квест
3	Имена исследователей на карте мира	25.04.2015	Беседа, экскурсия и квест
4	Москва – развивающийся мегаполис	26.09.2015	Экскурсия, квест и викторина
5	Химические элементы в природе	31.10.2015	Экскурсия и практикум
6	Жизнь океана	09.04.2016	Экскурсия и интерактивная игра
7	Узнай животных	23.04.2016	Экскурсия, творческое занятие и театр теней
8	Симметрия в мире растений	08.04.2017	Творческое занятие и мастер-класс
9	В поисках метеоритов	21.10.2017	Экскурсия и практикум
10	История Московского университета и Воробьевых гор	14.04.2018	Экскурсия и квест
11	Горные породы в облицовке Главного здания МГУ	22.09.2018	Экскурсия, практикум и квест
12	Охраняемые природные территории г. Москвы	27.10.2018	Интерактивный квест
13	Топ-5 в мире драгоценных камней: простые ответы на сложные вопросы	02.10.2021	Лекция и практикум (онлайн-формат)
14	Морские организмы – древние и современные: приспособление к образу жизни	24.09.2022	Беседа и практикум (онлайн-формат)

Итак, теоретическая часть занятия всегда дополнялась различными интерактивными методами работы с различными возрастными группами посетителей. Практическая часть предполагала самостоятельную работу, которая состояла из поиска ответов на вопросы на экспозиции музея (рис. 1 а), работу с маршрутным листом и выполнение конкретных заданий (рис. 2), а также образовательную игру (рис. 1 б).

Следует отметить, что в период пандемии в 2020 году занятия в музее не проводились, а в 2021 и 2022 году занятия в рамках проекта УС проходили в онлайн-формате на платформе ZOOM, такой формат потребовал совершенно других методических разработок. При этом конечно же существовала проблема включения всех присутствующих на занятии в сети слушателей в диалог и в выполнение заданий, которые затем проверялись. Онлайн-форма проведения занятий уменьшает количество методических приемов, которые может использовать преподаватель, это только беседа, небольшие практические задания и ответы на задаваемые вопросы. Однако онлайн-форма позволила подключиться к занятиям в музее большему числу участников и не только проживающим в городе Москве.

Наш анализ использования на занятиях в музее (очная форма) различных интерактивных приемов показал, что не обязательно стремиться на одном занятии использовать большее число методических приемов, достаточно и двух. Так, хорошо разработанный квест (на

основе маршрутного листа), интерактивная игра или мастер-класс после теоретического знакомства с темой занятия могут прекрасно способствовать погружению в изучаемый материал, что не только закрепляет полученные знания, но и формирует определенные навыки. Важно, чтобы на занятии было легко и интересно участникам, и они не чувствовали нехватку времени для знакомства с музейными объектами.



Рис. 1. Проведение экскурсии в музее на университетской субботе по теме «Узнай животных» (2016 год) (а) и проведение обучающей игры с использованием кратких определителей животных на университетской субботе «Узнай животных» (2016 год) (б)



Рис. 2. Выполнение индивидуальных заданий
а – работа с маршрутным листом на экспозиции музея при проведении университетской субботы «Эволюция органического мира» (2015 год; б – работа на университетской субботе «В поисках метеоритов» (2017 год).

Вопрос о разнообразии интерактивных методов и приемов, используемых на занятиях, решается на этапе разработки методических материалов для занятия (табл. 1). Не для каждой темы занятия можно провести мастер-класс по изготовлению какого-либо объекта собственными руками, это скорее более редко используемый метод. Для разработки интерактивной игры требуется время и предварительная апробация, поэтому мы использовали уже созданные нами ранее игры и подготовленные к ним материалы. Этот метод можно также отнести к более редким для занятий в рамках проекта УС. Практикумы мы применяли значительно чаще, так как имеющиеся учебные музейные коллекции, используемые для обучения студентов по ряду предметов, позволяли работать с ними и участникам университетских суббот. Практическая работа очень выигрышна и запоминается надолго, это – прикосновение к первоисточнику знаний. Квест – как метод обучения, имеет мотивационный аспект – найти правильный ответ, выполнить быстрее других. Одновременно квест можно разработать достаточно быстро и практически для любого тематического

занятия, особенно в музее, где сами экспонаты подсказывают вопросы и ответы. Поэтому мы достаточно часто пользовались этим методом.

Итак, сочетание различных методов и методических приемов позволило нам сделать занятия в рамках проекта «Университетские субботы» более увлекательными. Но позволяет ли это делать заключение, что УС – эффективная форма просвещения?

Определение понятия «эффективность» в различных отраслях науки представляется по-разному. Если в экономике эффективность понимается, как достижение каких-либо определенных результатов с минимально возможными издержками или получение максимально возможного объема продукции из данного количества ресурса (Экономика. Толковый словарь, 2000), то в педагогике скорее рассматривается эффективность обучения, и этому посвящено множество работ (Кузьмина, 2013; Профессионально-педагогические понятия, 2005). Эффективность обучения в педагогике рассматривается чаще всего, как мера совпадения реально достигнутых результатов с заявленными целями образовательной программы, то есть по-другому, эффективность – это достижение поставленных целей. Бесспорно, при разработке творческих занятий в рамках проекта «Университетские субботы» мы ставили для себя цель провести мероприятие так, чтобы оно запомнилось участникам, как в теоретической части, так и в практической. Этой цели мы достигли на всех тематических занятиях, о чем свидетельствует реакция участников занятий (рис. 3) и их отзывы. Так как у нас просветительский проект, то занятия можно считать эффективными уже по двум показателям: по реакции участников (понравилось) и по усвоению отдельных знаний.

Мнение участников наших занятий можно разбить на несколько групп. Приведем пример обобщенного отзыва о занятиях. Так, школьники, это первая группа, сказали следующее:

- «Университетские субботы – это общение с новыми людьми, посещение разных мест, возможность забрать сувенир на память» (учащийся 8 класса).

- «В первую очередь это, конечно же, расширение кругозора. Благодаря УС люди узнают больше о любимой профессии, деле или специальности, в том числе я. Во-вторых, УС помогают ученику оценить ВУЗ, в котором он, возможно, будет учиться» (учащийся 11 класса).

- «Возможность познакомиться с Университетом, окунуться в его мир» (учащийся 9 класса).

- «Интересное и познавательное время препровождение» (учащийся 9 класса).

Взрослые участники мероприятий УС, вторая группа, отметили следующее:

- «Интересно узнать новое или больше узнать того, что уже знаешь» (взрослый посетитель).

- «Возможность получить информацию или навык в вопросе, в котором я не разбираюсь или разбираюсь недостаточно хорошо» (родитель).

- «Если одной фразой – ВЕК ЖИВИ, ВЕК УЧИТЬСЯ!» (родитель).

В третью группу мы собрали просто восторженные отзывы участников, отправленные на сайт Департамента образования г. Москвы, они также самые разные, приведем примеры некоторых:

- «Очень познавательное и увлекательное занятие. Понравилось, что во время активной части занятия в нее вовлечены все – дети и родители. Большое спасибо сотрудникам музея за интересные мероприятия» (24.10.2017 г.).

- «Полный восторг! Великолепное мероприятие! И взрослые, и дети получили полное удовольствие!» (25.10.2017 г.).

- «Квест «Охраняемые природные территории Москвы», который я как родитель посетила с двумя детьми-пятиклассниками, был совершенно замечательным. В нем нам понравилось буквально все от первой и до последней минуты...» (31.10.2018 г.).

- «Я учусь в 5 классе и Музей землеведения в МГУ посещала впервые. На квесте было очень интересно, я узнала много нового о заповедниках и национальных парках, а также о проблемах загрязнения...» (1.11.2018 г.).



Рис. 3. Участники мастер-класса по изготовлению закладок из природных материалов на университетской субботе «Симметрия в мире растений» (2017 год)

Итак, как видно из содержания отзывов о мероприятиях в рамках просветительского проекта «Университетские субботы», данную форму проведения занятий можно считать эффективной, так как занятия, во-первых, понравились, а во-вторых, дали участникам новые знания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика преподавания различных дисциплин рекомендует использовать в сочетании различные методы и методические приемы для повышения качества образовательного процесса, что позволяют не уставать учащимся при переключении с одного действия на другое и глубже усваивать знания. Мы учли эти рекомендации при разработке тематических занятий в рамках просветительского проекта «Университетские субботы». Перед нами также стояла задача сделать эти занятия увлекательными, поэтому каждое занятие состояло из двух частей – теоретической и практической, причем форма подачи материала могла быть самой различной. Анализируя методические разработки тематических занятий, созданных с 2014 года и по настоящее время, мы пришли к выводу, что количество интерактивных методов на одном занятии не обязательно должно быть большим, достаточно использовать всего два метода, но они должны быть хорошо спланированы и проработаны.

Нами также установлено, что практическая работа для каждого тематического занятия может быть наиболее быстро спланирована в форме квеста, в нашем случае – создавались маршрутные листы. Эта форма проведения практической части занятия оказалась увлекательной для участников, так как они работали в свободном поисковом режиме, а ведущие занятие преподаватели могли достаточно быстро проверить правильность выполнения заданий. Таким образом, мы достигли поставленной цели – быстро и популярно объяснить и закрепить знания по охране природы. Значит эффективность таких занятий нами доказана, и мы можем рекомендовать такие формы занятий для широкого использования.

Следует также отметить специфику передачи экологических знаний, здесь знакомство только с теорией не способствует формированию экологической культуры граждан. Обязательно требуется использовать личностно-деятельностный подход в обучении, когда учащиеся сами выполняют задания различной формы. Следовательно, в просветительских целях тем более необходимо использование сочетания различных методов и методических приемов для мероприятий по экологической тематике.

По результатам проведения тематических занятий в рамках проекта «Университетские субботы» сотрудниками музея подготовлены и опубликованы два методических пособия (Уроки в музее и на природе, 2017; Музейный практикум: наука и творчество, 2021). Методический сборник «Уроки в музее и на природе» стал в 2019 году лауреатом конкурса Международного проекта «Экологическая культура. Мир и согласие» в номинации «Экологическое воспитание и просвещение» Неправительственного фонда имени В. И. Вернадского.

Список литературы

- Все проекты. Субботы московского школьника. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://events.educom.ru/?ysclid=18omctei2t547415060> (просмотрено 1.10.2022)
- Кузьмина Н. А. Эффективность процесса обучения и учения // Теория и практика общественного развития, 2013. № 12. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.effektivnost-protsess-a-obucheniya-i-ucheniya.pdf>
- Межправительственная конференция по образованию в области окружающей среды, Тбилиси (СССР), 14-26 октября 1977 г. Заключительный доклад. – Париж, 1978. – 117 с.
- Музейный практикум: наука и творчество. Методическое пособие. – М.: ИПЦ «Маска», 2021. – 98 с.
- Новиков В. Вместо парты технопарки: как «Кванториумы» изменят столичное образование. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/news/item/16451073/> (дата публикации 29.09.2016)
- Профессионально-педагогические понятия. Словарь / Под ред. Г.М. Романцева. – М. 2005. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://didacts.ru/slovari/professionalno-pedagogicheskie-ponjatija-slovar-2005.html> (просмотрено 13.09.2022)
- Словарь-справочник по корпоративному обучению. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sberuniversity.ru/edutech-club/glossary/> (просмотрено 10.10.2022)
- Субботы московского школьника. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://events.educom.ru> (просмотрено 3.09.2022)
- Таранец И. П., Шилкина Ю. С. Интерактивность как ключевой элемент просветительской деятельности вузов // Наука в вузовском музее: Материалы ежегодной Всероссийской научной конференции с международным участием: Москва 20-22 ноября 2018. – М.: МАКС Пресс, 2018. – С. 126–129.
- Уроки в музее и на природе. Методическое пособие / [Под ред. Л. В. Поповой]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – 87 с.
- Экономика. Толковый словарь. – М.: «ИНФРА-М», Издательство «Весь Мир», 2000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/16954 (просмотрено 8.09.2022)

Popova L. V., Pikulenko M., M., Taranets I. P. Effective forms of an environmental enlightenment: the University' Saturdays for school students in the university museum // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 111–117.

All people environmental education is one of the most important components of the environmental continuous education' system, which covers the entire modern society. At the same time, natural science museums, as an educational centers, play a significant role in the dissemination of the environmental knowledges. In order to increase the effectiveness of the environmental museum' education and to attract more citizens to visit them, it should be paid attention for various forms and methods of such teaching. It is also possible to arouse interest among museum visitors in thematic excursions and classes based on the use of personal and activity approaches, when conditions are created for involvement in the museum educational space for each visitor. This can be done using active (interactive) teaching methods. Special attention is paid to such teaching methods by the university museums, which, as a rule, are created to work with students, but are currently conducting a lot of educational activities with schoolchildren - future university entrants. The article presents an analysis of methodological developments for the museum's thematic classes held at the Earth Science Museum of the Lomonosov Moscow State University as part of the long-term educational project of Moscow the «University's Saturdays». It is shown that the effectiveness of the environmental thematic lesson is achieved by using a combination of various methods and methodological techniques (quest, excursion, workshop, interactive game, master class, conversation, etc.), while the effectiveness was assessed according to two criteria – a positive reaction of the participants and their receipt of new knowledge. Environmental education is inseparable from the use of interactive teaching methods.

Key words: environmental education, environmental enlightenment, University' Saturday, museum pedagogy, informal education.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 20.01.23

УДК 582. 33/34

Роль геологических памятников природы в сохранении биоразнообразия мохообразных Рязанской области

Попова Н. Н.¹, Казакова М. В.²

¹ Воронежская государственная академия спорта
Воронеж, Россия

² Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
Рязань, Россия
leskea@ymail.ru; m.kazakova@365.rsu.edu.ru

Целью исследования явилось выявление видового богатства мохообразных геологических памятников природы Рязанской области. Сборы мохообразных проводились маршрутным методом в 2017–2021 годах. Бриофлора изученных 11 памятников природы насчитывает 94 вида, из них 1 вид занесен в основной список Красной книги Рязанской области, 18 – в мониторинговый. Состав бриофлоры характеризуется высоким уровнем таксономического, ботанико-географического и эколого-биологического разнообразия. Приводится перечень видов мохообразных и распространение по исследованным объектам. Наибольшее видовое богатство и доля редких видов отмечены в памятниках природы «Урочище Зеркалы» (64 вида), «Страшный овраг» (40), «Кочуровские скалы» (35). Существенный вклад в территориальную охрану редких петрофильных мохообразных вносят комплексные ООПТ, где имеются выходы коренных пород – «Милославская лесостепь», «Старожиловская лесостепь», «Зеленчуковые широколиственные леса». Обоснована значимость геологических памятников природы в сохранении редкого в европейской России комплекса кальцефильных бриофитов; даны рекомендации по оптимизации охраны мохового компонента биоты, приуроченного к геологическим объектам Рязанской области.

Ключевые слова: биоразнообразие, геологические памятники природы, мохообразные, петрофиты, редкие виды, Рязанская область.

ВВЕДЕНИЕ

Как и в большинстве регионов Центральной России в Рязанской области не все компоненты биоты изучены в равной мере. Это касается и мохообразных – весьма многочисленной и своеобразной группы споровых растений. Исторические материалы по бриофлоре области весьма скудны и касаются лишь северо-западных районов в пределах Мещерской низменности. С учетом всех известных бриологических данных к настоящему времени список мохообразных Рязанской области насчитывает около 260 видов, что составляет по нашим оценкам около 80–85% от всей бриофлоры. Если общий состав бриофлоры относительно изучен и формально отражает природно-климатические условия Рязанской области, то вопросы распространения, частоты встречаемости, ландшафтной приуроченности, динамики состояния популяций индикаторных и редких видов, проблемы территориальной охраны до сих пор во многом не решены. В процессе подготовки недавно опубликованного третьего издания Красной книги Рязанской области (2021) авторы статьи проводили бриологические исследования с целью восполнения указанных пробелов. Было обнаружено около десятка новых для области видов, причем в подавляющем большинстве это петрофиты, приуроченные к выходам коренных пород (Порова, 2018; Попова, 2021).

Актуальность инвентаризации всех компонентов биоты охраняемых территорий в Центральной России не вызывает сомнений. Мохообразные имеют определенные эколого-биологические и ботанико-географические особенности и часто связаны в своем распространении с уникальными или своеобразными природными объектами, отличающимися спецификой текстуры, химизма и происхождения. Это в полной мере относится к геологическим памятникам природы, в которых зачастую отмечается богатый и своеобразный набор мхов, даже в малых по размерам объектах, испытывающих

существенную антропогенную нагрузку. Однако, несмотря, на очевидный бриологический интерес к геологическим достопримечательностям, данные по их бриофлоре в пределах Рязанской области касаются лишь нахождения некоторых редких видов (Волоснова, Игнатов, Игнатова, 2012). Краткий анализ материалов по бриофлоре некоторых ценных геологических объектов средней полосы европейской части России был осуществлен одним из авторов настоящей публикации (Попова, 2018а). Обобщающие материалы по биоразнообразию геологических ООПТ Рязанской области приводятся в данной статье впервые.

Цель нашего исследования – выявить видовое богатство мохообразных геологических памятников природы Рязанской области и оценить роль геологических ООПТ в сохранении петрофитного бриокомплекса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной статье приводятся бриологические материалы для 11 геологических памятников природы Рязанской области, кроме того, учтены и сведения о мохообразных, приуроченных к геологическим объектам в действующих и перспективных ООПТ комплексного профиля.

Сборы мохообразных проводились маршрутным методом в 2017–2021 годах. Камеральная обработка осуществлялась с применением общепринятых бриологических методик. Идентифицировано около 700 образцов. Гербарные сборы хранятся в фондовых гербариях заповедника Галичья гора (VU) и Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина (RSU).

Номенклатура видов дана по сводкам мхов и печеночников России (Потемкин, Софронова, 2009; Флора мхов России, 2017; 2018, 2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже перечислены геологические памятники природы с краткими установочными сведениями (Природно-заповедный фонд Рязанской области, 2004) и характеристикой бриофлоры.

Строго говоря, не все рассматриваемые территориальные объекты относятся по своему основному природоохранному профилю к геологическим памятникам природы. Урочища Страшный овраг, Щербатовские известняки, Урочище Зеркалы, Кочуровские скалы, Темгеновские известняки, Сенцовские известняки – это комплексные Особо охраняемые природные территории (ООПТ) с богатым фиторазнообразием сосудистых растений и животных объектов, включая многочисленные виды, подлежащие федеральной и региональной охране (Красная книга..., 2021). Однако именно геологические выходы коренных пород составляют основу их природного и ландшафтного своеобразия и богатства биоты.

1. Страшный овраг (Касимовский район). Изначально в 1977 году под охрану был взят лесной карстовый провал площадью 2 га; в 2003 году в границы ООПТ включены два квартала Гусевского участкового лесничества, и охраняемая площадь была увеличена до 220 га. Объекты охраны: карстовый провал как система слившихся карстовых воронок глубиной до 15 м, фрагменты смешанных лесов с участием ели и широколиственных пород; редкие представители флоры и фауны. Памятник природы расположен на междуречье рек Гусь и Сынтулка в пределах моренно-водно-ледниковой равнины днепровского возраста. Видовой состав мохообразных включает около 40 видов, среди которых преобладают бореальные представители хвойно-широколиственных лесов, в частности, на подстилке отмечены *Hylocomium splendens*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhodobryum roseum*, *Plagiomnium elatum*, на гнилой древесине – *Tetraphis pellucida*. Перечисленные виды собраны на прилегающих к воронкам участках смешанного леса. На почвенных обнажениях крутых склонов отмечены *Atrichum flavisetum*, *Dicranella heteromalla*, *Mnium stellare*. На мелких кусках известняка,

обильных на днище карстового провала, выявлены редкие гигрофильные кальцефилы *Dichodontium pellucidum*, *Fissidens gracilifolius*, имеющие в области 2 – 3 местонахождения.

2. Щербатовские известняки (Касимовский район). В 1977 году под охрану был взят участок коренного левого берега реки Оки площадью 5,3 га, в 2003 году она была расширена до 9,2 га. Объект охраны: обнажения известняков верхнего карбона с ископаемой фауной. На дневную поверхность выходят доломиты и известняки, перекрытые водно-ледниковыми песками. Открытые участки старых кустарных разработок чередуются с поросшими березняком естественными скалистыми обнажениями. В составе бриофлоры выявлено 20 видов как степных кальцефилов (*Aloina rigida*, *Didymodon rigidulus*, *Schistidium submuticum*), так и обычных лесных видов (*Atrichum undulatum*, *Eurhynchiastrum pulchellum*, *Leskea polycarpa*, *Pylaisia polyantha*, *Lewinskya speciosa*).

3. Урочище Зеркалы (Милославский район). Под охрану взяты липецкая в 1998 году и рязанская в 2003 году части разветвленной системы балок с выходами песчаников, известняков, частично пересыхающим ручьем по днищу балки, склонами различных экспозиций, занятых степными сообществами, дубово-березовым лесом, искусственными сосняками. Контрастность экологических условий определила высокий уровень таксономического (64 вида), эколого-биологического и ботанико-географического разнообразия мохообразных (Попова, 2018 б). Единичные местонахождения (среди изученных ООПТ) только в Зеркалах имеют 19 видов, среди которых ацидофильные и кальцефильные петрофиты, а также бореальные лесные виды. В Красную книгу Липецкой области (2014) занесен *Ptilium crista-castrensis* (категория 1) – индикаторный вид хвойно-широколиственных лесов. В Красную книгу Рязанской области (2021) занесен *Pterigynandrum filiforme* (категория 3) – петрофитно-эпифитный вид, собранный на глыбе песчаника в березняке. Заслуживают охраны также *Grimmia muehlenbeckii* (единственное местонахождение в области), *Pogonatum urnigerum*, *Sciuro-hypnum populeum*, *Dichodontium pellucidum*, отмеченные на песчаниках и каменистых осыпях.

4. Кочуровские скалы (Милославский район). Памятник природы образован в 2003 году, занимает площадь 107,5 га. Объекты охраны: самые древние обнажения коренных пород в области – верхнедевонские доломиты и известняки; разнотравно-луговые каменистые степи, редкие представители степной флоры и фауны. Памятник природы расположен в низовьях реки Кочуровки, впадающей с севера в реки Дон. Крутые правобережные склоны долины высотой 10–30 м сформировали скалистые отвесные уступы. Здесь обнажаются отложения фаменского яруса верхнего девона. Верхние части склона покрыты петрофитными степными сообществами на щебнистых карбонатных черноземах; близ русла обильны выходы грунтовых вод. Такое разнообразие благоприятных местообитаний обусловило произрастание бок о бок контрастных в экологическом плане мохообразных – от кальцефильных гигрофитов (*Bryum turbinatum*, *Calliergonella lindbergii*, *Hygroamblystegium varium*, *Pohlia wahlenbergii*), до кальцефильных ксерофитов (*Brachythecium glareosum*, *Bryum funckii*, *Didymodon rigidulus*, *Schistidium submuticum*, *Syntrichia intermedia*) и мезоксерофильных эпифитов, поселяющихся на стволах немногочисленных деревьев (*Leskea polycarpa*, *Pylaisia polyantha*, *Lewinskya speciosa*, *Orthotrichum pallens*). Наибольший интерес представляет нахождение кальцефильного петрофита *Gyroweisia tenuis* (известно лишь 2 местонахождения в области, причем, одно из них на неохраняемой территории). Высокую природоохранную значимость данного ООПТ определяет и присутствие богатого комплекса аридных кальцефилов – *Aloina rigida*, *Pterygoneurum ovatum*, *P. subsessile*, *Weissia levieri*, *W. longifolia*. В целом, флористическое богатство мохообразных насчитывает 35 видов, из них 40 % – редкие виды, что делает данный объект уникальным в бриологическом аспекте среди степных известняковых урочищ северной части Среднерусской возвышенности.

5. Геологические отложения у села Дядьково (Рязанский район). Памятник природы образован в 2003 году на площади 33 га. Объекты охраны: четвертичные отложения и оползни. Памятник природы занимает участок правобережного склона долины реки Оки и устье балки Грачи восточнее Рязани; территория преимущественно безлесная, растительность

луговая, кустарниковая и местами сорно-рудеральная. Бриофлора бедна и включает 7 частых эвритоппных видов.

6. Темгеновские известняки (Сасовский район). Памятник природы образован в 1977 году, затем в 2003 году его территория была расширена и уточнена, в настоящее время имеет площадь 43 га. Объекты охраны: богатейшие в области сообщества петрофитных степей, кальцефильных группировок на выходах среднекарбонных известняков с уникальным флористическим и фаунистическим комплексами, в составе которых десятки редких видов (Природно-заповедный фонд Рязанской области, 2004). Памятник природы расположен в низовьях Темгеновского оврага – глубоко врезанной суходольной балки. Высока научно-историческая ценность урочища: здесь работали классики отечественной геоботаники Д. И. Литвинов, В. В. Алехин, Н. А. Прозоровский. В составе бриофлоры выявлено 20 видов, среди которых значительно участие степных кальцефилов: *Aloina rigida*, *Weissia brachycarpa* (глинисто-известняковый рухляк), *Bryum funkii*, *Didymodon fallax*, *Schistidium dupretii*, *Tortula muralis* var. *aestiva* (поверхности плотных известняковых глыб), *Campyliadelphus chrysophyllus*, *Calliergonella lindbergii*, *Abietinella abietina* (склоны северных экспозиций, где моховой покров развит довольно обильно).

7. Сенцовские известняки (Сасовский район). Памятник природы образован в 2003 году на участке правобережья реки Цны на площади 116 га. Объекты охраны такие же, как предыдущей ООПТ: известняки и доломиты мячковского горизонта московского яруса среднего отдела каменноугольной системы, участки ковыльных степей и остепненных лугов, байрачная дубрава, лесостепные кальцефитные группировки. Памятник природы занимает уступ третьей надпойменной террасы высотой от 14 до 22 м, выработанный в толще известняков карбона, перекрытых песками и алевролитами, выше которых лежит чехол маломощных суглинков. Отмечено 25 видов мхов, почти полностью повторяющих бриофлору Щербатовских известняков, в сборах пока отсутствует лишь *Aloina rigida*; несколько богаче представлена лесная эколого-ценотическая группа.

8. Мезозойские отложения у села Никитино (Спасский район). Памятник природы образован в 2003 году на участке правобережья реки Оки на площади 88 га. Объект охраны: юрские и меловые обнажения, насыщенные ископаемой фауной, здесь в 1897 году был описан «рязанский горизонт» глазионитовых фосфатизированных песчаников. Береговой склон западной и северо-западной экспозиции террасирован и прорезан небольшими оврагами. Растительность открытых пространств представлена суходольными лугами, маловозрастной дубравой с хорошо развитым кустарниковым ярусом, у подножия склона вдоль ручья сформировалась прибрежная полоса черноольшаника. Выявленное видовое разнообразие мохообразных включает 12 частых эвритоппных видов.

9. Троицкие четвертичные отложения (Спасский район). Памятник природы образован в 2003 году на участке правобережья реки Оки на площади 8 га. Объект охраны: стратотип четвертичных отложений, включающих лессовидные суглинки, днепровскую морену, озерно-аллювиальные отложения. Склоны восточной экспозиции заняты разреженной травянистой растительностью, обогащенной сорно-рудеральным компонентом; короткие овражки зарастают древесными видами. Видовой состав мхов включает 11 эвритоппных видов.

10. Фатьяновские четвертичные отложения (Спасский район). Памятник природы образован в 2003 году на участке правобережья реки Оки на площади 11 га. Объект охраны: стратотип нижнее-среднеплейстоценовых отложений. Территория памятника природы протянулась узкой полосой вдоль крутого коренного склона правого берега реки Оки, рассеченного многочисленными овражками. Древесная растительность полностью отсутствует. Видовое разнообразие видов весьма низкое – всего 5 видов, отмеченных для всех охраняемых стратотипов четвертичных отложений (*Brachythecium campestre*, *Barbula unguiculata*, *Syntrichia ruralis*, *Bryum caespiticium*, *Ceratodon purpureus* и др.).

11. Конобеевская балка (Шацкий район). Памятник природы образован в 2003 году на площади 56,5 га. Объекты охраны: обнажения известняков карбона, богатый лесостепной флористический комплекс. Памятник природы представляет собой систему довольно глубоко врезанных балок с плоскими днищами, пронизывающих толщу четвертичных отложений и

вскрывающих известняки каменноугольного периода. По склонам изредка встречаются крупные глыбы известняков. В настоящее время выявлено 10 видов широко распространенных мохообразных, из редких объектов обнаружена малочисленная популяция кальцефильного петрофита *Schistidium submuticum*. В небольшом пересыхающем осоковом болотце выявлена деградирующая популяция гигрофита *Drepanocladus aduncus*. В результате прокладки нового полотна дороги, вплотную прилегающей к границам ООПТ, отмечено негативное антропогенное воздействие.

Курганы в рабочем поселке Кадом (Кадомский район). Эрозионный останец надпойменной террасы реки Мокши служит местом отдыха горожан; бриологического интереса не представляет.

Обработка собранных на 11 ООПТ данных и их обобщение позволило представить картину распространения выявленных видов. В составленном списке номерами указаны охарактеризованные ООПТ: *Abietinella abietina* (Hedw.) M.Fleisch. [2, 3, 4, 6, 7, 8]; *Aloina rigida* (Hedw.) Limpr. [2, 4, 6]; *Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al. [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9]; *Atrichum flavisetum* Mitt. [1]; *A. undulatum* (Hedw.) P. Beauv. [2, 3, 6, 7]; *Barbula unguiculata* Hedw. [2–11]; *Brachytheciastrum velutinum* (Hedw.) Ignatov et Huttunen [3, 7]; *Brachythecium albicans* (Hedw.) Bruch et al. [3, 8, 9, 10]; *B. campestre* (Muell. Hal.) Bruch et al. [2–7, 9, 11]; *B. glareosum* (Bruch ex Spruce) Bruch et al. [3, 4]; *B. mildeanum* (Schimp.) Schimp. [3, 4, 6]; *B. rutabulum* (Hedw.) Bruch et al. [1, 3]; *B. salebrosum* (F. Weber et D. Mohr.) Bruch et al. [1–6, 9, 11]; *Bryum argenteum* Hedw. [3–6]; *B. caespiticium* Hedw. [2–11]; *B. elegans* Nees [3]; *B. funckii* Schwaegr. [3, 4, 6]; *B. pseudotriquetrum* (Hedw.) P.Gaerth. [3]; *B. turbinatum* (Hedw.) Turner [4]; *Callicladium haldanianum* (Grew.) H.F.Crum [1, 3]; *Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske [3]; *C. lindbergii* (Mitt.) Hedenaes [3, 4, 6]; *Campyliadelphus chrysophyllus* (Brid.) R.S.Chopra [3, 6]; *Campylidium calcareum* (Crundw. et Nyholm) Ochyra [3]; *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. [2–11]; *Cirriphyllum piliferum* (Hedw.) Grout [3]; *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr [1, 3]; *Dichodontium pellucidum* (Hedw.) Schimp. [1, 3]; *Dicranella heteromalla* (Brid.) Schimp. [1, 3]; *Dicranum montanum* Hedw. [1, 3]; *D. polysetum* Sw. [1, 3]; *D. scoparium* Hedw. [1, 3]; *Didymodon fallax* (Hedw.) R.H. Zander [2, 3, 4, 6, 8, 7]; *D. rigidulus* Hedw. [3, 4, 6]; *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. [3, 11]; *Eurhynchiastrum pulchellum* (Hedw.) Ignatov et Huttunen [2, 3, 6, 7]; *Fissidens bryoides* Hedw. [3]; *F. gracilifolius* Brugg.-Nann. et Nyholm [1]; *F. taxifolius* Hedw. [3]; *Funaria hygrometrica* Hedw. [4]; *Grimmia muehlenbeckii* Schimp. [3]; *G. pulvinata* (Hedw.) Sm. [3]; *Gyroweisia tenuis* (Hedw.) Schimp. [4]; *Hygroamblystegium humile* (P. Beauv.) Vanderp., Goffinet et Hedenaes [4]; *H. varium* (Hedw.) Moenk. [3, 4]; *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. [1]; *Hypnum cupressiforme* Hedw. [1]; *Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson [6]; *Leptodictyum riparium* (Hedw.) Warnst. [1, 3, 4]; *Leskea polycarpa* Hedw. [1, 3, 8, 9, 11]; *Lewinskya speciosa* (Nees) F. Lara, Farilletti et Groffinet [1, 3, 8, 9, 11]; *Lophocolea heterophylla* (Schrad.) Dum. [1]; *L. minor* Nees. [3, 7]; *Mnium stellare* Hedw. [1]; *Nycolniella obtusifolia* (Brid) Holmen et E.Warncke [1]; *Orthotrichum pallens* Sw. exd anon [4]; *O. pumilum* Sw. ex anon. [3]; *Oxyrrhynchium hians* (Hedw.) Loeske [1–4, 6–9, 11]; *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J. Kop. [3, 6, 7]; *P. elatum* (Bruch et al.) T.J. Kop. [1]; *P. ellipticum* (Brid.) T.J. Kop. [3]; *Plagiothecium denticulatum* (Hedw.) Bruch et al. [1]; *P. laetum* Bruch et al. [1, 3]; *Platygyrium repens* (Brid.) Bruch et al. [3, 7]; *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. [1, 3]; *Pogonatum urnigerum* (Hedw.) P. Beauv. [3]; *Pohlia melanodon* (Brid.) A.J. Shaw [11]; *P. nutans* (Hedw.) Lindb. [1, 3, 7]; *P. wahlenbergii* (F. Weber et D. Mohr) A.L. Andrews [4]; *Polytrichum juniperinum* Hedw. [3]; *P. piliferum* Hedw. [3]; *Pterigynandrum filiforme* [3]; *Pterygoneurum ovatum* (Hedw.) Dixon [4]; *P. sessile* (Brid.) Jur. [4]; *Ptilidium pulcherrimum* (G. Web.) Vain. [1, 3]; *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not [1, 3]; *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al. [1, 3, 8, 9, 11]; *Rhizomnium punctatum* (Hedw.) T.J. Kop. [1]; *Rhodobryum roseum* (Hedw.) Kindb. [1]; *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst. [3]; *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske [1, 3]; *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch et al. [3]; *S. dupretii* W.A. Weber [6]; *S. submuticum* Broth ex H.H. Blom [3, 4, 6, 7, 11]; *Sciuro-hypnum curtum* (Lindb.) Limpr. [1]; *Serpoleskea subtilis* (Hedw.) Loeske [3]; *Stereodon pallescens* (Hedw.) Mitt. [1, 3]; *Syntrichia intermedia* Brid. [4]; *S. ruralis* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr. [2–6, 8–10]; *Tetraphis pellucida* Hedw. [1]; *Tortula acaulon* (With.) R.H. Zander [4]; *T. muralis* var. *aestiva*

Hedw. [1, 6]; *Weissia brachycarpa* (Nees et Hornsch.) Jur. [6]; *W. levieri* (Limpr.) Kindb. [4]; *W. longifolia* Mitt. [4].

Всего в бриофлоре изученных геологических памятников природы Рязанской области выявлено 94 вида, из них в Красную книгу Рязанской области (2021) занесен *Pterigynandrum filiforme* (категория 3); 18 видов включены в мониторинговый список, их популяции нуждаются в постоянном наблюдении: *Atrichum flavisetum*, *Aloina rigida*, *Dichodontium pellucidum*, *Hylocomium splendens*, *Fissidens gracilifolius*, *Grimmia muehlenbeckii*, *G. pulvinata*, *Gyroweisia tenuis*, *Pogonatum urnigerum*, *Pterygoneurum ovatum*, *P. subsessile*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Sciuro-hypnum populeum*, *Syntrichia intermedia*, *Weissia brachycarpa*, *W. levieri*, *W. longifolia*. В большинстве изученных объектов присутствует богатый кальцефитно-петрофитный бриокомплекс, в целом насчитывающий около 20 видов.

Помимо перечисленных памятников природы геологического профиля, выходы коренных пород присутствуют в ряде ООПТ комплексного характера. С учетом нижеперечисленных объектов уровень видового богатства мохообразных на их территориях возрастает до 140, число занесенных в Красную книгу видов – до 6, а количество редких видов в целом – до 35.

Памятник природы Старожилловская лесостепь (Старожилловский район). Площадь 67,5 га. Объекты охраны: лесостепные сообщества на склонах коренного правого берега реки Истья. С западной стороны к территории ООПТ примыкает старый карьер по добыче известняка. Наличие включений кварца в известняковых глыбах дало карьере название среди жителей – Хрустальный карьер. По предварительным данным, в составе бриофлоры ООПТ выявлено около 50 видов, непосредственно в карьере – 35 видов, среди них редкий в равнинных регионах европейской России кальцефильный печеночник, горный по ареалу и экологии *Leiocolea badensis* (Gott ex Rabenh.) Joerg., а также кальцефилы *Bryum kunzei* Schimp., *Aloina rigida*, популяция последнего вида весьма обильна, отмечено активное спороношение.

Государственный природный заказник Милославская лесостепь (Милославский район). Площадь 2196,8 га. Помимо лесостепного природного комплекса к числу объектов охраны относятся выходы древних коренных пород (известняки и песчаники), характерные для Придонского известняково-карстового ландшафтного района Среднерусской лесостепи. Всего в границах заказника выявлено 109 видов мохообразных (Попова, Волоснова, 2021), из них на каменистых субстратах – около 40. Богатый петрофильный бриокомплекс представлены как гигрофильными (*Fissidens gracilifolius*, *Campylium stellatum* (Hedw.) С.Е.О. Jensen, *Homomallium incurvatum* (Schrad. ex Brid.) Loeske, *Rhynchostegium murale* (Hedw.) Bruch et al.), так и ксерофильными (*Aloina rigida*, *Pterygoneurum ovatum*, *P. subsessile*, *Encalypta trachymitra* Ripart. *E. vulgaris* Hedw., *Ortotrichum anomalum* Hedw., *Pseudoleskeella catenulata* (Brid. ex Schrad.) Kindb., *Tortula modica* R.H. Zander, *T. protobryoides* R.H. Zander, *Weissia longifolia*) мхами. Роль заказника в сохранении биоразнообразия лесостепной бриофлоры Рязанской области значительна.

Зеленчуковые широколиственные леса (Рыбновский район). Площадь недавно созданного памятника природы 1543 га. Основной объект охраны: нагорные дубравы на правобережье реки Осетр. На территории ООПТ имеются многочисленные выходы плотных карбонатных известняков, обильно обрастаемых мхами. В старовозрастной дубраве складываются благоприятные экологические условия для поселения бриофитов – родниковые ручьи с обилием известнякового рухляка, крупные глыбы известняков во влажных и тенистых оврагах, многочисленный валеж и другие. Всего выявлено около 50 видов, к геологическим объектам приурочено около 20 видов, среди них занесенные в Красную книгу Рязанской области *Anomodon attenuatus* (Hedw.) Huebener, *A. viticulosus* (Hedw.) Hook. et Taylor, *Rhynchostegium murale* (Hedw.) Bruch et al., *Taxiphyllum wisgrillii* (Garov.) Wijk et Margad. (все из категории 3), а также ряд других редких и интересных видов.

К числу перспективных (с бриологической точки зрения) для создания ООПТ можно отнести следующие территории:

Карьерно-озерный комплекс у деревни Серебрянь (Михайловский район). В составе бриофлоры выявлено 35 видов, из них редкие – *Aloina rigida*, *Bryum funckii*, *Didymodon*

ferrugineus (Schimp. ex Besch.) M. Hill, *Leiocolea badensis*, *Schistidium elengantulum* Blom (единственное местонахождение в области), *Gyroweisia tenuis*. В связи с тем, что заброшенные карьеры Михайловского промышленного комплекса достаточно близко расположены от памятника природы Завидовский долинный комплекс, целесообразно включение наиболее ценных участков в состав действующего ООПТ, что существенно повысит уровень видового богатства бриофлоры.

Известняковый карьер у поселка Лашма (Касимовский район). Выявлено 22 вида, среди них *Leiocolea badensis*.

Старинные каменоломни близ реки Увязь в окрестностях села Салаур, (Шиловский район). Выявлено около 40 видов на плитчатых известняках по берегу, а также в роднике, ольшанике и прилегающем хвойном лесу. В обильно развитом моховом покрове представлены как петрофиты, так и эпифиты: *Leiocolea badensis*, *Leucodon sciuroides* (Hedw.) Schwaegr. (категория 3), *Bryoerythrophyllum recurvirostrum* (Hedw.) P.C. Chen и ряд других интересных видов.

Выходы песчаников в урочище Старое Курбатово (Милославский район). Урочище Старое Курбатово представляет собой заброшенный старинный парк в бывшей усадьбе Толстых. Выходы на дневную поверхность плотных кварцитовых песчаников в Рязанской области редки, единичные их местонахождения отмечены лишь на юге области: урочища Зеркалы и Милославская лесостепь. Песчаники естественного происхождения в виде крупных, до 3 м в диаметре, глыб, обильно заросших мхами, находятся в средней части склона по берегу пруда. Видовое разнообразие – около 30 видов, из них 15 видов произрастает на песчаниках: *Paraleucobryum longifolium* (Hedw.) Loeske (единственное местонахождение в области, категория 3), *Schistidium apocarpum*, *Fissidens gracilifolius*, *Plagiothecium cavifolium* (Brid.) Z. Iwats., *P. nemorale* (Mitt.) A. Laegr., *Plagiomnium rostratum* (Schrad.) T.J. Kop., *Polytrichastrum longisetum* (Sw. ex Brid.) G.L. Sm., *Rhizomnium punctatum* (Hedw.) T.J. Kop.

Наиболее богатая и интересная бриофлора характерна для геологических объектов с выходами коренных пород; самая бедная и тривиальная – для стратотипов четвертичных и прочих отложений. Полностью отсутствует среди геологических памятников природы Рязанской области такая категория как *геологические объекты горнопромышленной эксплуатации*. Как видно из приведенных материалов, в составе бриофлоры карьеров присутствуют редкие виды необычной для Рязанской области экологии, причем популяции многих из них существенно обильнее, чем в природных местообитаниях, что можно объяснить отсутствием конкуренции со стороны сосудистых растений, не выдерживающих таких экстремальных условий среды. Несмотря на трудности организации охранного режима на таких объектах (многие продолжают разрабатываться, находятся в частной собственности), некоторым полностью заброшенным карьерам или каменоломням, представляющим ландшафтный, геологический и биологический интерес целесообразно присвоить статус особо охраняемой природной территории, например, в качестве Охраняемого ландшафта местного значения. Как показывает пример соседней Владимирской области (Аникина, Казакова, 2017) старые известняковые карьеры (Дюкинский карьер) становятся местом сохранения крупных популяций редких видов орхидных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бриофлора геологических памятников природы Рязанской области характеризуется достаточно высоким уровнем видового (94 вида) разнообразия, а также обилием редких видов – в основном из числа аридных кальцефитов и видов горной экологии. Наибольшую бриологическую ценность из числа действующих ООПТ геологического профиля имеют памятники природы: Урочище Зеркалы (64 вида), Страшный овраг (40), Кочуровские скалы. Существенный вклад в территориальную охрану редких петрофильных мохообразных вносят комплексные ООПТ, где имеются выходы коренных пород – Милославская лесостепь, Старожиловская лесостепь, Зеленчуковые широколиственные леса. Высокий уровень видового разнообразия мохообразных и значительная доля редких видов выявлены в

рекомендованных к охране объектах: Карьерно-озерный комплекс у села Серебрянь, Известняковый карьер у поселка Лашма, Старинные каменоломни близ реки Увязь, выходы песчаников в урочище Старое Курбатово.

Для оптимизации охраны биологического и ландшафтного разнообразия целесообразно: всестороннее изучение всех компонентов биоты геологических памятников природы, активное использование природоохранного потенциала объектов горнодобывающей промышленности, изменение профиля ряда ООПТ на комплексный (или ландшафтно-биологический), расширение их территории путем создания кластерных участков с выходами коренных пород, выявление новых ценных природных объектов и организация их охраны путем создания ООПТ.

Список литературы

- Аникина И. О., Казакова М. В. Мониторинг состояния *Cypridium calceolus* L. в бассейне Оки // Вопросы региональной географии, геоэкологии и биогеографии: Материалы Всероссийской научно-практич. конф. – Рязань, 2017. – С. 116–118.
- Волоснова Л. Ф., Игнатов Е. А., Игнатов М. С. Новые находки мхов в Рязанской области // *Arctoa*, 2012. – Vol. 21. – P. 81 – 84. DOI: 10.15298/arctoa.21.06.
- Красная книга Липецкой области. Растения, грибы, лишайники. – Липецк, 2014. – 696 с.
- Красная книга Рязанской области. – Ижевск, 2021. – 556 с.
- Попова Н. Н. Бриофлора геологических достопримечательностей средней полосы России // Ботаника в современном мире: Труды XIV Русского Ботанического Общества. Т. III Споровые растения. – Махачкала, 2018а. – С. 56–58.
- Попова Н. Н. Бриофлора // Исследование территории проектируемого музея-заповедника «Родина П.П. Семенова-Тян-Шанского». – Липецк, 2018б. – С. 137–158.
- Попова Н. Н. Новые находки мохообразных для Рязанской области // Новости систематики низших растений, 2021. – Т. 55 (1). – С. 261–262. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2021.55.1.249>
- Попова Н. Н., Волоснова Л. Ф. Бриофлора государственного природного заказника «Милославская лесостепь» (Рязанская область) // Вопросы степеведения, 2021. – Т. XV, № 1. – С. 57-67.
- Потемкин А. Д., Софронова Е. В. Печеночники и антоцеротовые России. Т. 1. – СПб.-Якутск, 2009. – 368 с.
- Природно-заповедный фонд Рязанской области / Сост. М. В. Казакова, Н. А. Соболев. – Рязань, 2004. – 420 с.
- Флора мхов России. / [Отв. ред. М. С. Игнатов]. – Т. 2. – М., 2017. – 560 с.; Т. 4. – М., 2018. – 543 с.; Т. 5. – М., 2020. – 600 с.
- Popova N. N. New bryophyte records from Ryazan Province. 1. / New bryophyte records 11. [Ed. Sofronova E. V.] // *Arctoa*, 2018. – Vol. 27 (2). – P. 210–211. DOI: 10.15298/arctoa.27.19

Popova N. N., Razakova M. V. The role of geological monuments in the conservation of bryophytes biodiversity in Ryazan region // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 118–125.

The purpose of the study was to identify the species richness of moss-like geological monuments of the Ryazan region. Collections of mosses were carried out by the route method in 2017-2021. The bryoflora of the studied 11 natural monuments has 94 species, of which 1 species is listed in the main list of the Red Book of the Ryazan region, 18 – in the monitoring list. The composition of the bryoflora is characterized by a high level of taxonomic, botanical-geographical and ecological-biological diversity. The list of species of mosses and the distribution of the studied objects is given. The most rich bryoflora and proportion of rare species are noted in the natural monuments Urochishche Zerkaly (64), Strashnyi ovrag (40), Kochurovskie skaly (35). A significant contribution to the territorial protection of rare petrophilic mosses is made by complex protected areas where there are outcrops of bedrock – Miloslavskaja lesostep, Starozhilovskaja lesostep, Zelenchukovy shirokolistvennye lesa. The following objects are offered for protection: Karerno-ozernyi kompleks u sela Serebriani Izvestniakovyi karer u poselka Lashma Starinnye kamenolomni bliz reki Uviaz Vykhody peschaniikov v urochishche Staroe Kurbatovo. The importance of geological monuments of nature in the conservation of calcifilic petrophytic briocomplex is clearly shown; recommendations are given for optimizing the protection of the moss component of biota confined to geological objects of the Ryazan region.

Key words: biodiversity, bryophytes, geological monuments of nature, petrophytes, rare species, Ryazan region.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 22.01.23

УДК 581.526.52(470.620)

Галофитно-нитрофитные сообщества класса *Cakile maritima* Тх. et Вг.-Вл. Et Тх. 1952 литоральной зоны Азовского моря с учетом антропогенной трансформации (Вербяная коса, Краснодарский край)

Постарнак Ю. А., Литвинская С. А.

Кубанский государственный университет
Краснодар, Россия
ecopost@mail.ru; litvinsky@yandex.ru

В статье представлена фитоценотическая характеристика растительных сообществ класса *Cakile maritima* Тх. et Вг.-Вл. Et Тх. 1952, на одной из приморских кос Азовского побережья России – Вербяной косе (Краснодарский край). Класс представляет пионерные группировки морских побережий, распространенных на участках с преобладанием процессов аккумуляции и образуемых облигатными галофильными и нитрофильными видами. На основании обработки 52 полных геоботанических описаний с помощью программы TURBOVEG, TWINSPLAN были выделены и сопоставлены с работами зарубежных и отечественных геоботаников ряд фитоценозов. В статье приведены синоптические таблицы и характеристика выделенных ассоциаций. Изученные сообщества отнесены к союзу *Cakilion euxinae* Gehu et al. 1994, ассоциации *Cakilo euxinae–Crambetum maritima* Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006 var. *Salsola tragus*. Растительный покров Вербяной косы подвергается значительному антропогенному воздействию в результате строительства и функционирования объектов нефтедобывающей инфраструктуры. Показано замещение литоральных естественных растительных сообществ на антропогенно трансформированные сообщества класса *Artemisietea vulgaris* Lohm. Preg. et R. Тх. 1950. Изученные растительные сообщества обочин дороги-дамбы, построенной на месте литоральных экосистем, отнесены к союзу *Dauco–Melilotion* Görs ex Rostanski et Gutte 1971 в составе порядка *Onopordetalia acanthii* Вг.-Вл. et Тх. ex Klika et Nadac 1944, объединяющему ксеромезофитную рудеральную растительность с преобладанием двулетних растений умеренной и суббореальной Европы. Участие адвентивного вида *Cenchrus pauciflorus* и *Corispermum nitidum* в составе синантропной растительности позволило выделить ассоциацию *Corispermum–Cenchrion pauciflori* Litvinskaya, Postarnak 2007. Описана структура выделенных синтаксонов, приведена экологическая характеристика.

Ключевые слова: синтаксономия; растительные сообщества; класс *Cakile maritima* Тх. et Вг.-Вл. et Тх. 1952; *Artemisietea vulgaris* Lohm. Preg. et R. Тх. 1950; литораль, прибрежная зона; Азовское море; Вербяная коса; антропогенная трансформация.

ВВЕДЕНИЕ

Систематизация и инвентаризация разнообразия растительных сообществ России до 2030 года названо одной из базовых современных научных задач России (Ермаков и др., 2020). Инвентаризация флоры и растительности приобретает особую актуальность для уязвимых береговых зон. Литоральный ландшафт Азовской прибрежной зоны характеризуется произрастанием: галофильных, остепненных, луговых, псаммофильных, лесных сообществ, которые отличаются специфичностью и разнообразием. Для береговой зоны Азовского побережья характерны уникальные аккумулятивные береговые формы, сложенные песками и алевритами с примесью ракуши и ракушечного детрита. Это различные по форме, строению, размерам косы и пересыпи. Вербяная коса, расположенная в дельте реки Кубань, является одной из приморских кос Азовского моря, отличающихся специфическим литоральными экосистемами. Растительный покров Вербяной косы находится под значительным антропогенным воздействием. Здесь с 2008 года начато строительство инфраструктуры нефтедобывающего предприятия, в результате которого сегодня функционирует дорога-дамба в литоральной части всей косы. Синтаксономия растительных сообществ представлена 9 классами, 9 союзам, 11 ассоциациям (Литвинская, Постарнак, 2007).

Цель работы – дать фитоценотическую характеристику одного из классов *Sakile maritimae* Tx. et Br.-Bl. Et Tx. 1952- галофитно-нитрофитных растительных сообществ, которые в наибольшей степени подверглись деструктивному воздействию хозяйственной деятельности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследованиями охвачены растительные сообщества литоральной зоны Вербяной косы, в 20 км на северо-восток от города Темрюка (рис. 1). Сбор материалов проводился по общепринятой методике геоботанических описаний, процесс его обработки соответствовали принципам эколого-флористического направления Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964). Геоботанические описания выполнялись на пробных площадях размером 100 м². При описании флористического состава для оценки обилия видов применяли шкалу Браун-Бланке: г – единичные особи вида, большей частью только один экземпляр; + – особи вида разрежены или покрывают лишь небольшую часть площади; 1 – особи многочисленны, но покрывают до 5 % или довольно разрежены, но с большей величиной покрытия; 2 – проективное покрытие 5–25 % или особи очень многочисленны, но покрытие ниже; 3 – проективное покрытие 26–50 %; 4 – проективное покрытие 51–75 %; 5 – проективное покрытие более 75 %. Всего было выполнено 52 полных геоботанических описания. Они были организованы с помощью программы TURBOVEG (Hennekens, 2001) в базы данных. В результате их обработки и анализа программой TWINSpan (Hill, 1979) был выделен ряд фитоценозов. Для характеристики изучаемых фитоценозов после выбраковки было отобрано 19 геоботанических описаний. Для установления синтаксономического статуса выделенные фитоценозы сопоставлялись с работами зарубежных и отечественных геоботаников (Тищенко, 2006; Сорокин, 2007, Гречушкина и др., 2011; Vegetation..., 2016). При выделении синтаксонов руководствовались Кодексом фитосоциологической номенклатуры, используемым школой Браун-Бланке (Баркман и др., 1988). Названия видов уточнены по сводке С. К. Черепанова (1995).

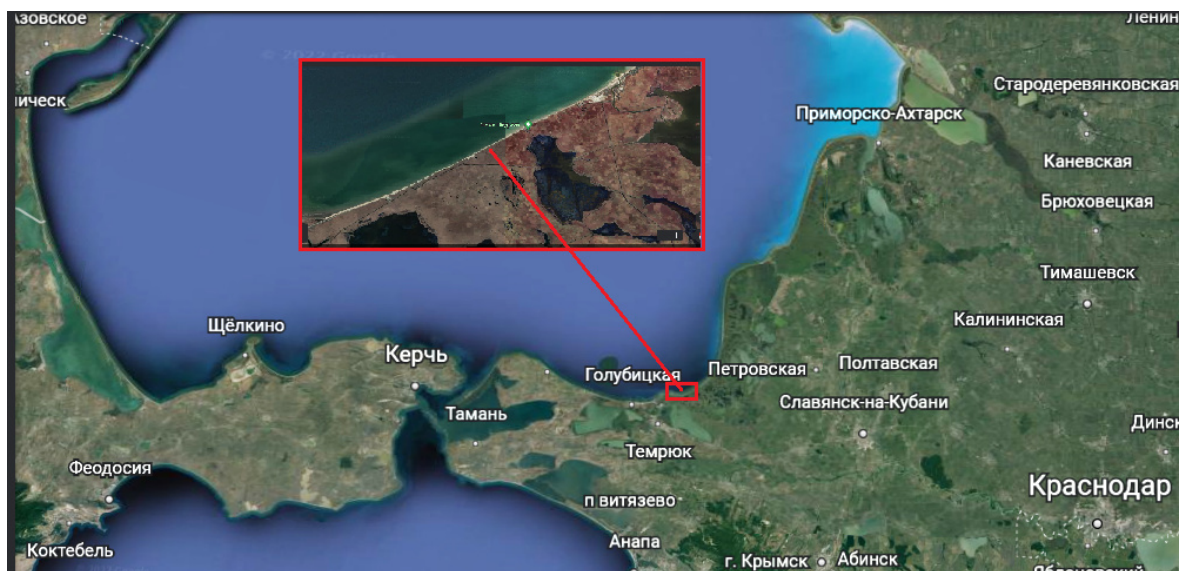


Рис. 1. Карта-схема района исследования

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Класс *Sakile maritimae* Tx. et Br.-Bl. Et Tx. 1952, порядок *Euphorbietalia peplis* Tx. Rivas Goday et Rivas-Mart. 1958 объединяет галофитно-нитрофитные группировки пионерной

прибрежной растительности Атлантического, Средиземноморского и Черноморского побережья. Сообщества с участием *Cakile euxina* объединены в союз *Cakilion euxinae* Gehu et al. 1994. Они формируются на рыхлых субстратах аккумулятивных береговых форм штормовых выбросов на берегу Черного и Азовского морей. В таблице 1 представлены данные о флористическом составе и обилии растений ассоциаций *Cakilo euxinae-Crambetum maritimae* Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006 var. *Salsola tragus* данного класса, представленной на Вербяной косе. Ниже приводится их характеристика.

Таблица 1

Синоптическая таблица синтаксонов класса *Cakile maritimae* и *Artemisietea* на Вербяной косе (Краснодарский край)

Количество видов	11	10	10	9	14	8	9	9	10	10	6	8	22	12	10	13	20	18	12
Проективное покрытие	10	30	80	5	80	10	10	15	10	30	10	20	50	20	40	10	40	30	20
Номер описания в базе	67	41	53	68	69	70	72	74	75	76	71	73	90	94	95	96	98	99	139
Номер описания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
D.s ass. <i>Cakilo euxinae-Crambetum maritimae</i> Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006 var. <i>Salsola tragus</i>																			
<i>Salsola tragus</i>	+	.	.	+	1	1	+	1	1	1	+	1	.	.	.	.	1	.	.
D.s ass. <i>Corispermo-Cenchrion pauciflori</i> Litvinskaya, Postarnak 2007																			
<i>Cenchrus pauciflorus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	+	+	.	1	+
<i>Corispermum nitidum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	1	+	+	+
D.c. Cl. <i>Cakiletea maritimae</i> Tx. et Breising in Tx. ex Br.-Bl. et Tx. 1952, Порядок <i>Euphorbietalia peplidis</i> Tx. 1950 ex Rivas Goday et Rivas-Matinez 1958																			
<i>Euphorbia peplis</i>	+	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cakile euxina</i>	+	+	1	+	1	+	+	+	1	1	+	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lactuca tatarica</i>	+	1	1	+	+	.	+	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.
<i>Salsola soda</i>	+	.	1	.	.	+	+	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.
D.c. Cl. <i>Artemisietea vulgaris</i> Lohm. Preg. et R. Tx. 1950																			
<i>Amaranthus retroflexus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Xanthium strumarium</i>	.	+	.	+	+	+	.	+	+	+	+	.	+	1	1	+	2	.	.
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	1	1	+	+	+
<i>Medicago lupulina</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	+	.
<i>Cichorium intybus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	r	.
<i>Melilotus albus</i>	+	+	+	+	+	+	+	.	+	+	.	.	+	+	+	+	1	+	+
Другие виды																			
<i>Crambe maritima</i>	+	+	+	.	+	.	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Leymus sabulosus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+	+	+	.	.	.	.	+	.	.
<i>Artemisia arenaria</i>	+	4	+	+	1	+	+	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Artemisia taurica</i>	.	2	.	+	+	.	.	+	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Chenopodium glaucum</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	1	+	+	+	+	+	.
<i>Atriplex sagittata</i>	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2	+	+
<i>Polygonum euxinum</i>	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	+
<i>Polygonum arenarium</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Conyza canadensis</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.
<i>Setaria viridis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	.	+	.
<i>Chenopodium album</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+
<i>Digitaria ciliaris</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	1	1

Polygonum arenarium +. Краснодарский край, Славянский район, 15 км к северо-востоку от города Темрюка, Вербяная коса. 16.06.2017.

Сообщества ассоциации *Cakilo euxinae–Crambetum maritimae* Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006 var. *Salsola tragus* произрастают в прибойной зоне до литорального вала напротив Буровой до Куликовского гирла. Флористическое богатство сообществ невысокое – 6–14 видов, общее проективное покрытие составляет 10–80 %. Максимальная высота надземных побегов варьирует от 20 до 50 см, средняя высота составляет 35 см. Здесь светло-зеленый аспект дает *Cakile euxina* (среднее проективное покрытие 15 %, при общем проективном покрытии – 20 %), а темно-зеленый – *Salsola tragus* (среднее проективное покрытие – 5 %). Постоянными ценокомпонентами является *Lactuca tatarica*, *Polygonum maritimum*, *Crambe maritima*, *Leymus sabulosus*, *Melilotus albus*. К ним в небольшом количестве присоединяются *Polygonum robertii*, *Salsola soda*, *Atriplex sagittata*, *Suaeda acuminata*. Сообщества ассоциации произрастают спорадически в литоральной узкой части галечного пляжа Азовской прибрежной зоны.

В 2007 году на Вербяной косе был построен линейный техногенный объект – дорога, ведущая на нефтедобывающее предприятие, и защитная волногасящая дамба (Крыленко, Крыленко, 2020). Дорога проложена по литоральной части косы, в 5–8 м от уреза воды, в результате чего сообщества рассматриваемого класса *Cakile maritimae* Тх. et Br.-Bl. Et Тх. 1952, подверглись трансформации. У обочины дороги на месте естественных природных систем сформировались синантропные группировки. Они нами определены в союз *Dauco–Melilotion* Görs ex Rostanski et Gutte 1971 в составе порядка *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Тх. ex Klikaet Nadac 1944 класса *Artemisietea vulgaris* Lohm. Prcg. et R. Тх. 1950, объединяющий ксеромезофитную рудеральную растительность с преобладанием двулетних растений умеренной и суббореальной Европы. Участие видов *Cenchrus pauciflorus*, *Corispermum nitidum* позволило выделить ассоциацию *Corispermo–Cenchrion pauciflori* Litvinskaya, Postarnak 2007.

Асс. *Corispermo–Cenchrion pauciflori Litvinskaya, Postarnak* 2007 (табл. 1, оп. 13–19, рис. 3). Диагностические виды: *Cenchrus pauciflorus*, *Corispermum nitidum*, *Amaranthus retroflexus*, *Xanthium strumarium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Medicago lupulina*, *Cichorium intybus*, *Melilotus albus*.

Номенклатурный тип (holotypus hoc loco) – оп. 18 в табл. 1: *Cenchrus pauciflorus* – 1, *Corispermum nitidum* – +, *Amaranthus retroflexus* – +, *Xanthium strumarium* – +, *Ambrosia artemisiifolia* – +, *Medicago lupulina* – r, *Cichorium intybus* – +, *Melilotus albus* – +, *Chenopodium glaucum* – +, *Atriplex sagittata* – +, *Setaria viridis* – +, *Chenopodium album* – +, *Digitaria ciliaris* – 1, *Echinochloa crus-galli* – 1, *Polygonum maritimum* +, *Portulaca oleracea* – +, *Amaranthus blitoides* – +, *Paspalum thunbergii* +, *Tragus racemosus* – +. Краснодарский край, Славянский район, 15 км к северо-востоку от г. Темрюка, Вербяная коса. 10.06.2017.

Видовая насыщенность составляет в 10–22 вида на 39 м². Максимальная высота надземных побегов варьирует от 40 до 120 см, средняя высота составляет 60 см. Травостой сообщества не густой с неравномерным сложением, общее проективное покрытие составляет 10–50 %. Вертикальная структура простая. В проективном покрытии доминируют адвентивные виды *Cenchrus pauciflorus*, *Echinochloa crus-galli*, *Setaria viridis*, *Amaranthus blitoides*. Высокую встречаемость имеют типичные рудеральные виды растений *Digitaria ciliaris*, *Chenopodium glaucum*. Также отмечаются, *Heliotropium ellipticum*, *Bromus squarrosus*, *Lepidium ruderales*, *Matricaria recutita*, *Tragus racemosus* и другие.

Следует отметить, что строительство насыпной дороги-дамбы в 2006 году способствовало активной экспансии на косу ряда инвазивных видов: *Amaranthus blitoides* S. Watson, *A. retroflexus* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Bidens frondosa* L., *Cenchrus pauciflorus* L., *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Paspalum thunbergii* Kunth ex Steudel, которые при расселении становятся доминантами сообществ, вытесняют аборигенные виды, занимая их экологические ниши.



Рис. 3. Проективное покрытие сообщества ассоциации *Corispermo–Cenchrion pauciflori* Litvinskaya, Postarnak, 2007 (площадь 13×3 м²) (а) дорога-дамба на Вербяной косе (б) (фото Ю. А. Постарнак)

1 – *Phragmites australis*, 2 – *Cenchrus pauciflorus*, 3 – *Salsola tragus*, 4 – *Melilotus albus*, 5 – *Digitaria ciliaris*, 6 – *Setaria viridis*, 7 – *Cynodon dactylon*, 8 – *Polygonum arenarium*, 9 – *Echinochloa crus-galli*, 10 – *Ambrosia artemisiifolia*, 11 – *Atriplex sagittata*, 12 – *Xanthium strumarium*, 13 – *Chenopodium glaucum*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в литоральных экосистемах прибрежной зоны Азовского моря на песчано-ракушечных экотопах формируются естественные галофитно-нитрофитные сообщества пионерной прибрежной растительности ассоциации *Cakilo euxinae – Crambetum maritimae* Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006 var. *Salsola tragus* класса *Cakile maritimae* Tx. et Br.-Bl. et Tx. 1952 (пор. *Euphorbietalia peplis* Tx. Rivas Goday et Rivas-Mart. 1958). На антропогенно трансформированных участках они заменяются синантропными растительными сообществами ассоциации *Corispermo–Cenchrion pauciflori* Litvinskaya, Postarnak 2007 класса *Artemisietea vulgaris* Lohm. Prcg. et R. Tx. 1950, в которых ведущая фитоценотическая роль принадлежит рудеральным и адвентивным видам.

Положение характеризуемых сообществ в системе высших синтаксонов представлено следующим образом:

Кл. *Cakile maritimae* Tx. et Br.-Bl. et Tx. 1952

Пор. *Euphorbietalia peplis* Tx. Rivas Goday et Rivas-Mart. 1958

Союз *Cakilion euxinae* Gehu et al. 1994

Асс. *Cakilo euxinae – Crambetum maritimae* Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006

вар. *Salsola tragus*

Кл. *Artemisietea vulgaris* Lohm. Prg. et R. Tx. 1950

Пор. *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Tx. ex Klikaet Hadac 1944

Союз *Dauco-Melilotion* Görss ex Rostanski et Gutte 1971

Асс. *Corispermum - Cenchrion pauciflori* Litvinskaya, Postarnak 2007

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ р_а 19-45-230019 «Фитоценологическая структура и флористическое разнообразие деградирующего литорального флороценокомплекса Азово-Черноморской прибрежной зоны».

Список литературы

- Баркман Я. Я., Моравец И., Раушерт С. Кодекс фитосоциологической номенклатуры // Бюллетень МОИП. Отделение биологическое. – 1988. – Т. 93, Вып. 6. – С. 112–130.
- Гречушкина Н. А., Сорокин А. Н., Голуб В. Б. Растительные сообщества классов *Amphiphyletea* и *Cakiletea maritima* на территории азовского побережья России // Черноморский ботанический журнал. – 2011. – Т. 7, № 1. – С. 5–14. DOI: 10.14255/23089628/11.71/1.
- Крыленко В. В., Крыленко М. В. Мониторинг берега Вербяной косы по спутниковым данным // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 169–180. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-169-180
- Литвинская С. А., Постарнак Ю. А. Сохранение биологического разнообразия – основа устойчивого развития прибрежных экосистем Азовского моря: монография. – Краснодар, 2007. – 231 с. – EDN TKGUOZ.
- Ермаков Н. Б., Плугатарь Ю. В., Крестов П. В., Матвеева Н. В. Информация о проекте «Создание классификации растительности России» // Растительность Восточной Европы и Северной Азии. – Материалы II Международной научной конференции (Брянск, 12–14 октября 2020 г.). – Брянск: РИСО БГУ, 2020. – С. 20.
- Сорокин А. Н. Экология и синтаксономия приморских сообществ классов *Cakiletea maritima* и *Nonckenpuo-Elymetea arenarii* европейской части России: автореф. ... дисс. канд. биол. наук. – Тольятти, 2007. – 21 с.
- Тищенко О. В. Рослинність приморських кіс північного Азовського моря. – Київ: Фітосоціоцентр, 2006. – 156 с.
- Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – М.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
- Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien. – New York: Springer-Verlag, 1964. – 865 s.
- Hennekens S. M., Schaminée J. H. J. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data // Journal of Vegetation Science. – 2001. – Vol. 12. – P. 589–591. DOI:10.2307/3237010
- Hill M. O. TWINSpan – a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and the attributes. – Ithaca: Cornell University, 1979. – 48 p.
- Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities / Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Raus T., Čarni A., Šumberová K., Willner W., Dengler J., Gavilán García R., Chytrý M., Hájek M., Di Pietro R., Jakushenko D., Pallas J., Daniëls F. J. A., Bergmeier E., Santos Guerra A., Ermakov N., Valachovič M., Schaminée J. H. J., Lysenko T., Didukh Y. P., Pignatti S., Rodwell J. S., Capelo J., Weber H. E., Solomeshch A., Dimopoulos P., Aguiar C., Hennekens S. M., Tichý L. // Applied Vegetation Science. – 2016. – Vol. 19. – (Suppl.1) 3–264 p.

Postarnak Yu. A., Litvinskaya S. A. Halophytic-nitrophyte communities of the *Cakile maritima* Tx. et Br.-Bl. Et Tx. 1952 littoral zone of the Sea of Azov (Verbianaya Spit, Krasnodar Territory) // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 126–132.

This article presents phytocoenotic characteristics of plant communities of the *Cakile maritima* Tx. et Br.-Bl. Et Tx. 1952, on one of the coastal spits on the Azov coast of Russia – Verbianaya spit (Krasnodar Krai). The class represents pioneer groupings of seashores distributed in areas dominated by accumulation processes and formed by obligate halophilic and nitrophilic species. Based on the processing of 52 vegetation-plot records (relevés) by TURBOVEG, TWINSpan, a number of phytocenoses were identified and compared to the work of foreign and native geobotanists. Synoptic tables and characteristics of the identified associations are given in the article. The communities studied are classified as *Cakilion euxinae* Gehu et al. 1994, the association *Cakilo euxinae-Crambetum maritima* Golub, Laktionov, Sorokin et Nikolaychuk 2006 var. *Salsola tragus*. Vegetation cover of Verbianaya spit is subjected to significant anthropogenic impact as a result of construction and operation of oil production infrastructure facilities. The replacement of littoral natural plant communities by anthropogenically transformed plant communities of *Artemisietea vulgaris* Lohm. Prg. et R. Tx. 1950. The studied plant communities of damba roadsides, constructed in place of littoral ecosystems, are attributed to the *Dauco-Melilotion* Görss ex Rostanski et Gutte 1971 union of the order *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Tx. ex Klikaet Hadac 1944, uniting xeromesophytic ruderal vegetation with predominance of biennial plants of temperate and subboreal Europe. The participation of the adventive species *Cenchrus pauciflorus* and *Corispermum nitidum* in the synanthropic vegetation allowed the *Corispermum-Cenchrion pauciflori* Litvinskaya, Postarnak 2007 association to be identified. The structure of the selected syntaxons is described and ecological characteristics are given.

Key words: syntaxonomy; plant communities; class *Cakile maritima* Tx. et Br.-Bl. et Tx. 1952; *Artemisietea vulgaris* Lohm. Prg. et R. Tx. 1950; littoral; coastal zone of the Sea of Azov; Verbianaya spit; anthropogenic transformation.

Поступила в редакцию 03.12.22
Принята к печати 30.12.22

УДК 626.824:626.823.93

Мониторинг технического состояния механического оборудования сооружений водохозяйственного комплекса

Романова А. С.¹, Бандурин М. А.², Приходько И. А.³

*Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина
Краснодар, Россия
Аny30082002@mail.ru; chepura@mail.ru; prixodkoigor2012@yandex.ru*

В статье показаны подходы к количественной оценке безопасности Грушевского распределителя. При проектировании гидротехнических сооружений вопросы их надежности рассматриваются недостаточно полно. Однако, отмечается, что при установлении размеров сооружений, базирующихся, в первую очередь на гидравлических расчетах, а также на прочностных расчетах, должна быть рассмотрена не только точность их получения, но и достоверность (надежность) этой точности, то есть гарантия того, что найденные параметры сооружений и их мехоборудования (затворы, подъемники и другие) соответствуют их назначению. В конечном счете проектировщика, строителя и эксплуатационника должно интересовать не только абсолютное значение ошибки какого-то решения, но и его вероятность. Гидромелиоративные системы являются сложными объектами и определение их надежности требует проведения специальных исследований и обработки большого количества статистического материала. Однако уже в настоящее время можно дать оценку надежности ряда элементов систем (например, размеров водопропускных сооружений, надежности работы затворов, устойчивости крепления из железобетона и камня, надежности водоподач насосных станций, организации надежности водоучета). Также в статье представлен ряд мероприятий, направленных на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, образующихся вследствие эксплуатации гидротехнических сооружений. Показана структура факторов безопасности и схема их влияния на безопасность эксплуатируемых гидротехнических сооружений мелиоративных систем.

Ключевые слова: мониторинг, водохозяйственный комплекс, затвор, гидротехнические сооружения, водохозяйственный комплекс.

ВВЕДЕНИЕ

В практике гидротехнического строительства обводнительно-оросительных систем используется более сорока типов затворов, однако наиболее широкое распространение имеют плоские затворы, перекрывающие отверстия до 300 м² и сегментные затворы, перекрывающие отверстия до 500 м².

Многие гидротехники считают, что в качестве регулирующих наиболее перспективными считаются сегментные затворы благодаря двум их главным преимуществам: отсутствию пазов и невысокой грузоподъемностью привода. С точки зрения строительной механики сегментный затвор представляет собой жесткую массивную конструкцию и, следовательно, мало подвержен вибрации. К достоинству сегментных затворов относится то, что опорные шарниры расположены вне потока, что облегчает их ремонт. Однако область применения сегментных затворов ограничена величиной передаваемой нагрузки на опорные элементы, которые вызывают растягивающие напряжения в бетоне.

Как плоские, так и сегментные затворы являются достаточно сложными системами для оценки их безопасности с учетом различного остаточного ресурса элементов этой системы (каркаса, опорных элементов, уплотнителей, тросов, подъемного оборудования и так далее) (Бандурин, Волосухин, 2012). На обводнительно-оросительных системах Южного федерального округа значительное место имеют затворы со сроком службы от 30 до 50 лет и выше.

Цель настоящих исследований – выявить структуру факторов безопасности и схему их влияния на безопасность эксплуатируемых гидротехнических сооружений мелиоративных систем на основе мониторинга технического состояния механического оборудования сооружений водохозяйственного комплекса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Грушевский распределитель построен как аварийный сброс на расход до 55 м³/с с последующей аккумуляцией сбросных вод в Грушевское водохранилище.

До постройки Грушевского водохранилища через Грушевский распределитель-сброс могли сбрасываться только ограниченные расходы до 3–4 м³/с в зависимости от конкретной обстановки на Октябрьском распределителе и его сбросных сооружений.

Узел сооружений на 37,42 км канала состоит из перегораживающего и головного шлюза Грушевского распределителя с быстротоком. Перегораживающее сооружение рассчитано на пропуск расчетного расхода воды 55 м³/с. Сбросной расход полностью аккумулируется в Грушевском водохранилище. Сооружение принято открытого типа с шириной входного отверстия 6 м. Затвор сегментный.

Выходная часть шлюза Грушевского распределителя соединяется с лотком длиной 3476 м от конца водозаборного шлюза ПК 0+76.80 до конца консоли ПК 35+53. Быстроток имеет входную монолитную железобетонную коробку длиной 25,2 м, далее сборно-монолитный железобетонный лоток длиной 2808 м, железобетонную монолитную часть лотка длиной 619 м и консоль 24 м.

С целью исключения волнообразования поперечное сечение быстротока построено, в основном, треугольного сечения по дну с шириной по верху 7,6 м со строительной высотой 2,27 м. Концевая часть быстротока выполнена прямоугольного сечения шириной 7,6 м и строительной высотой 2 м.

Температурные швы по всему быстротоку сделаны через 30 м. На участке затопления быстротока ПУ 338,00 Грушевского водохранилища сделана облицовка и крепление камнем.

Вертикальная посадка лотка произведена так, что над поверхностью земли стенки лотка должны возвышаться на 0,5 м, образуя парапет. Вдоль быстротока построена инспекторская дорога, а проезд через быстроток на ПК 19+44 осуществляется по мосту.

Для отвода ливневых вод с правой (нагорной) стороны быстротока отсыпаны стоконаправляющие валы, а прием ливневых вод в лоток осуществляется через окна, устроенные в верхней части правой боковой стенки лотка через 50 м.

На 37,44 км построен водозабор в Журавский распределитель.

Конструкция водозабора и эксплуатационные мероприятия по Журавскому распределителю приведены отдельно в инструкции по эксплуатации Журавского распределителя (Волосухин и др., 2010).

Грушевский распределитель имеет одно поверхностное (открытое) отверстие пролетом в свету 5 м, а перегораживающее сооружение на ПК 394+20 имеет два таких отверстия. Все отверстия этих сооружений укомплектованы однотипным гидромеханическим оборудованием: сегментными затворами с электрическими канатными подъемниками, шандорными заграждениями (по одному комплекту из 4 шандор на каждое сооружение) и подвесными передвижными ручными кранами грузоподъемностью $4,0 \times 10^4 \text{ Н} = 40 \text{ кН} = 4 \text{ тс}$.

Сегментный затвор сооружения имеет следующие характеристики:

1. конструкция – сварная;
2. пролет – 5,0 м;
3. высота затвора – 4,0 м;
4. максимальный напор – $3,45 \times 10^4 \text{ Па} = 34,5 \text{ кПа}$;
5. высота установки опорного шарнира от порога – 4,4 м;
6. радиус обшивки – 5,5 м;
7. расстояние между точками подвеса РТП – 3,4 м;
8. грузоподъемность механизма – $5,0 \times 10^4 \text{ Н} = 50 \text{ кН} = 5 \text{ тс}$.

В стенах сооружения установлены и забетонированы по радиусу сегментного затвора боковые закладные части под боковые резиновые уплотнения затвора.

Боковые закладные части изготовлены из листовой стали шириной 500 мм и толщиной 8 мм. Со стороны бетона они окантованы уголком $40 \times 40 \times 4 \text{ мм}$ и приварены к рабочей

арматуре стенок сооружения. В нижней части в бетоне установлена и приварена к боковым закладным частям пороговая балка из швеллера № 20 под донное уплотнение затвора.

На расстоянии 3270 мм от оси пороговой балки и 4499 мм по высоте в стенах сооружения забетонированы закладные части под опорные шарниры сегментного затвора. Закладные части опор затвора сварные и изготовлены из швеллеров № 10, 20, 30 и уголка 70×70×6 мм, хотя минимальный номер швеллера в затворах гидротехнических сооружений допускается не менее 16.

Конструкция сегментного затвора принята консольного типа с косыми опорными фермами (ногами). Металлоконструкция его состоит из верхней и нижней балочных клеток, к которым со стороны верхнего бьефа приваривается обшивка из листовой стали 6 мм. Главные ригели выполнены из двутавра № 24. Диафрагмы изготовлены из листовой стали толщиной 10 мм. Ноги затвора выполнены из двутавров № 20, уголка 70×70×6 мм и листовой стали толщиной 8 мм. Подвижная и неподвижная части шарниров выполнены из стального литья сталь 20 Л-П ГОСТ 977–75. Боковые уплотнения затвора представляют собой углообразную резину типа III марки 10554–1.

Нижнее донное уплотнение затвора выполнено из деревянного бруса, болтами закрепленного к швеллеру нижней обвязки балочной клетки. Со стороны верхнего бьефа внизу затвора приварена проушина для точек закрепления концов канатов подъемника.

При нормальной эксплуатации сооружения затворы должны поддерживать уровень воды на определенных отметках в верхнем бьефе и обеспечивать подачу определенных расходов в БСК-3.

Маневрирование затворами производится с помощью индивидуальных стационарных канатных подъемников марки ЭЛ-5 с электроприводом грузоподъемностью $5,0 \times 10^4$ Н, установленных в служебном помещении.

Подъемник состоит из электродвигателя мощностью 2 кВт, комбинированного редуктора с самотормозящей червячной парой, которая, кроме функции передачи, выполняет роль тормоза от произвольного опускания затвора под собственным весом, двух соединительных валов с муфтами, передающими крутящими моменты на два грузовых барабана. На грузовых барабанах закреплены канаты, которые посредством двух блоков направляются к точкам подвеса сегментного затвора. Подъемник оснащен указателем сокращения каната, состоящим из коробки путевых выключателей, кинетически связанных с хвостовиком червяка редуктора. В коробку путевых выключателей, вмонтирована шкала местного указателя сокращения каната, механизм путевого выключателя и приводной валик сельсин – датчиков. Датчик предусматривается только при дистанционном или телемеханическом управлении канатными подъемниками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вопросы изучения безопасности и надежности гидротехнических сооружений мелиоративных систем, разработанная профессорами ВНИИГ, НГМА, МГСУ, МГУП (Румянцев И. С., Волосухин В. А., Белоконев Е. Н., Малаханов В. В и другие), представлена на рисунке 1 (Волосухин, Бандурин, 2017).

Надежность – это свойство объекта сохранять со временем в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Показателем надежности называется признак (мера), по которому оценивается надежность различных систем и их элементы. Показатели надежности количественно характеризуют, в какой степени конкретному объекту присущи определенные свойства, обуславливающие его надежность. Они бывают размерные (например, наработка на отказ) и безразмерные (вероятность безотказной работы, коэффициент готовности и другие).

Вопросы определения основных показателей надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых объектов рассматриваются в работе.

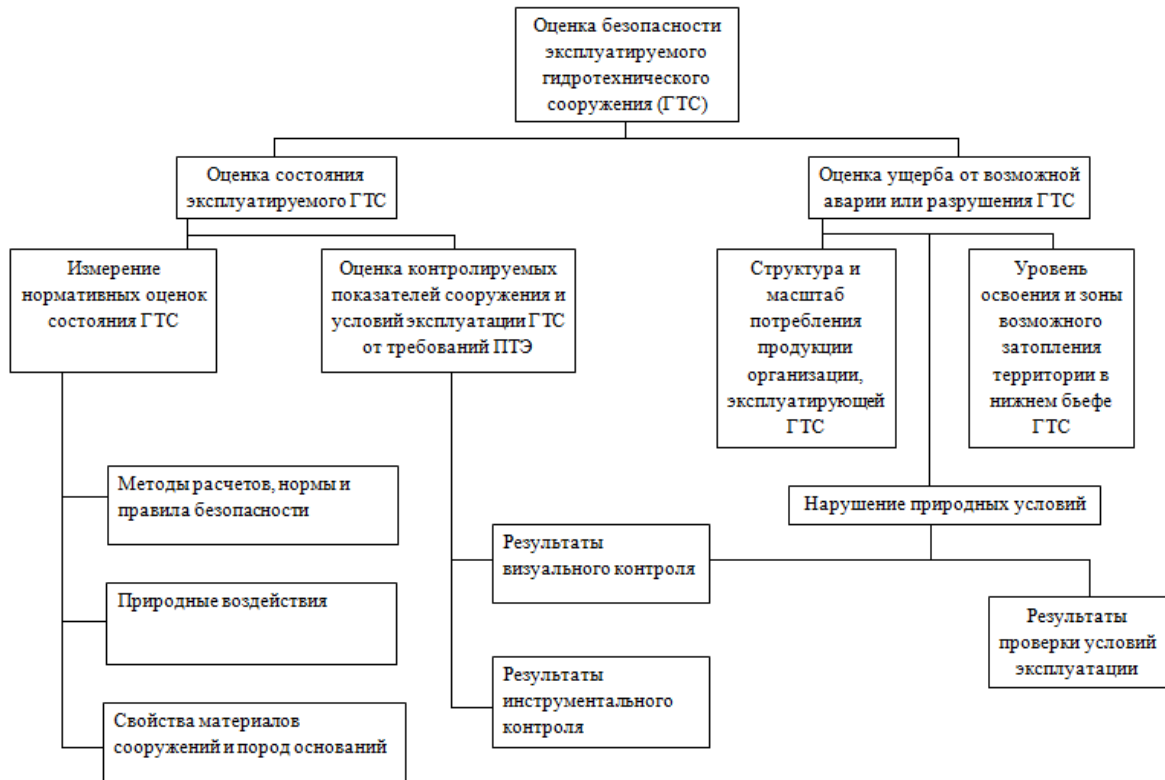


Рис. 1. Структура факторов безопасности и схема их влияния на безопасность эксплуатируемых ГТС мелиоративных систем

Разработана методика оценки вероятностей отказов механического оборудования (МО) ГТС, которая позволяет оценить среднегодовую вероятность отказа МО водосбросных и водопроводящих трактов ГТС. При этом следует отметить, что при декларировании безопасности ГТС под отказом МО понимаются лишь те из них, которые приводят к катастрофическим последствиям, включенным в сценарии развития аварийных ситуаций.

Разработана методика количественной оценки уровня безопасности эксплуатируемых ГТС, в которой перечень факторов безопасности представлен в виде иерархической структуры (Чеботарев, Приходько, 2013). После завершения расчетов для всех уровней иерархии (рис. 1) и определения уровня безопасности ГТС в целом следует:

- 1) выполнить анализ вклада отдельных факторов и групп факторов;
- 2) в случае необходимости внести коррективы в набор учитываемых факторов, их иерархию, ранжирование, оценку факторов, низших уровней иерархии, выбор расчетных формул;
- 3) повторить процедуру оценки уровня безопасности с использованием уточненных исходных данных и локальных характеристик безопасности;
- 4) сформулировать (в случае необходимости) выводы о причинах низкого уровня безопасности, необходимые для разработки мер организационно-технического характера по предотвращению аварий и разрушения эксплуатируемого ГТС.

Анализ большого числа аварий на гидротехнических сооружениях показал, что очень часто аварии происходят из-за выхода из строя по ряду причин механического оборудования, включая затворы, в том числе сегментные (Bandurин и др., 2018)

Ниже рассматриваются факторы, которые могут привести к авариям.

- 1) Человеческий фактор (болезнь, растерянность, халатное отношение к своим обязанностям).

2) Выход из строя опорного шарнира сегментного затвора (перекос затвора и, как следствие, возможное его заклинивание).

3) Некачественное сопряжение ног опорной фермы затвора с ригелями (болтовое или сварное) и другие возможные нарушения соединения элементов.

4) Отказ электродвигателя подъемного механизма затвора (отключение электроэнергии, поломка электродвигателя).

5) Отрыв проушины, к которому крепится стальной трос подъемного механизма.

6) Обрыв троса (каната) подъемного механизма.

7) Выход из строя донного или боковых уплотнений вследствие разрушения болтов крепления уплотнений или истирания этих уплотнений.

8) Подъемная ферма обуславливает пространственную жесткость затвора в целом и перераспределяет усилия от гидростатического и гидродинамического давления воды между ригелями.

9) Разрушение обшивки (по сварным швам).

10) Отсутствие или наличие неисправных механизмов для установки шандор при разрушении основного затвора (Safronova и др., 2020) при хранении шандор на площадке рядом с гидротехническим сооружением.

Изучение опыта эксплуатации гидротехнических сооружений, факторов, приводящих к появлению чрезвычайных ситуаций, позволяет разработать ряд мероприятий по их ликвидации.

1) Вышел из строя сегментный затвор

Мероприятия:

Сообщить в Управление систем БСК о возникшей аварийной ситуации.

Весь проходящий по каналу расход пропустить через отверстия перегораживающего сооружения.

Закрыть отверстие водозаборного сооружения шандорами.

Ремонтной бригаде отремонтировать сломавшийся затвор или механическое оборудование.

2) Вышел из строя один из сегментных затворов перегораживающего сооружения

Позвонить в Управление службы эксплуатации БСК о возникшей аварии.

Закрыть отверстие со сломанным затвором шандорами.

Весь проходящий по каналу расход пропускать через одно отверстие и через отверстие водозабора.

Ремонтной бригаде отремонтировать сломавшийся затвор.

3) В перегораживающем сооружении БСК-3 вышли из строя два сегментных затвора

Позвонить в Управление службы эксплуатации с извещением об аварии затворов и с просьбой уменьшить расход воды в канале.

Полностью открыть сегментный затвор в водозаборном сооружении.

Перекрыть одно отверстие перегораживающего сооружения шандорной стенкой.

Ремонтной бригаде отремонтировать сегментный затвор в перекрытом шандорной стенкой отверстии.

Открыть отверстие (поднять отремонтированный затвор) с целью пропуска через него части расхода.

Перекрыть второе отверстие перегораживающего сооружения шандорной стенкой.

Отремонтировать второй сегментный затвор.

Убрать шандорную стенку.

Поднять второй сегментный затвор и обеспечить необходимый эксплуатационный режим Грушевского распределителя.

4) Прекращена подача электроэнергии к Грушевскому распределителю.

Позвонить в Управление службы эксплуатации БСК (канала).

Перейти на ручное управление маневрированием затворами.

5) Складирование шандорных балок находится на расстоянии, требующем дополнительной рабочей силы и установке их в шандорные пазы.

Оповестить Управление об аварийной ситуации.

С помощью подвешенного подъемного механизма осуществить доставку шандорных балок к аварийному отверстию и вставить их поочередно в шандорные пазы, привлекая к этой операции находящихся по близости людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сооружение и отводящие каналы БСК-3 были обречены на появление трещин и деформаций еще в период строительства вследствие использования цемента Черкесского завода. По данным НИИ ВОДГЕО этот цемент имеет низкие показатели по морозостойкости.

Деформации основания сооружения и грунта под облицовкой могут быть вызваны наличием просадочных грунтов. Основание должно быть предварительно замочено и утрамбовано до проектной плотности грунтов.

Анализ конструктивного решения сегментного стального поверхностного затвора позволяет отметить следующее (Vladimirov и др., 2020).

1) В качестве материала затвора принята малоуглеродистая сталь ВСт-3, обладающая слабой коррозионной устойчивостью. По нормативным требованиям использование фасона – швеллера № менее 16 не допускается. Однако для устройства закладных элементов применен швеллер № 10 с толщиной стенки не менее 6 мм;

2) В период эксплуатации ГТС Грушевского распределителя БСК-3 необходимо уделять внимание монтажным (крепежным) соединениям из болтов (крепление донного уплотнения – деревянного бруса к нижней части затвора, бокового резинового уплотнения к концевым стойкам-диафрагмам, подъемных устройств и др.). Это тем важно, что в случае появления блуждающих токов в сооружении болты крепления из стали Ст3 могут разрушиться в течении 3–5 лет.

3) Одним из слабых мест в сегментных затворах БСК-3 могут быть опорные шарниры, которые служат для передачи нагрузки от гидростатического и гидродинамического давления воды, включая ветровой нагон (например, в период прохождения катастрофического паводка через водосбросные отверстия Невинномысского гидроузла два сегментных затвора были срезаны по опорным шарнирам).

4) Наличие трех сегментных затворов на распределительном узле БСК-3 снижает риск катастрофической ситуации, так как маловероятно, что у них различная пропускная способность.

5) Усиление сегментных затворов БСК-3 при реконструкции должно осуществляться в соответствии с действующей нормативной документацией.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-17-20001.

Список литературы

Бандурин М. А., Волосухин В. А. Мониторинг сооружений водного хозяйства / В сборнике: Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы. – Правительство Ростовской области, Министерство сельского хозяйства и продовольствия; ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – С. 98–101.

Волосухин В. А., Бандурин М. А., Волосухин Я. В., Горобчук Е. Н., Воропаев В. И., Белогай С. Г. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений низконапорных водохранилищ и обводнительно-оросительных систем / [Под общей редакцией В. А. Волосухина]. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2010. – 338 с.

Волосухин В. А., Бандурин М. А. Необходимость многофакторной диагностики донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности сооружений // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 346–354.

Чеботарев М. И., Приходько И. А. Патент № 2482663 С2 Российская Федерация, МПК А01G 16/00. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса : № 2011123829/13 : заявл. 10.06.2011 : опубл. 27.05.2013 / Заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Vanzha V. V. Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 931. – P. 214–218.

Safronova T., Vladimirov S., Prikhodko I., Sergeyev A. Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, 19–30 августа 2020 года. – Rostovon-Don, 2020. – P. 05014. – DOI 10.1051/e3sconf/202021005014. .

Vladimirov S. A., Prikhodko I. A., Safronova T. I., Chebanova E. F. Water regime formation of river basins in the delta zone on the example of the Azov region. E3S Web of Conferences : 13, Rostov-on-Don, February 26–28, – 2020. Rostovon-Don, – 2020. – P. 12010.

Romanova A. S., Bandurin M. A., Prikhodko I. A. Monitoring of the technical condition of mechanical equipment of water management complex structures // // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 133–139.

The article shows approaches to the quantitative assessment of the safety of the Grushevsky distributor. When designing hydraulic structures, the issues of their reliability are not fully considered. However, it is noted that when establishing the dimensions of structures based primarily on hydraulic calculations, as well as on strength calculations, not only the accuracy of their receipt should be considered, but also the reliability (reliability) of this accuracy, that is, a guarantee that the found parameters of structures and their mechanical equipment (gates, lifts, and others) correspond to their purpose. Ultimately, the designer, builder and operator should be interested not only in the absolute value of the error of some decision, but also in its probability. Irrigation systems are complex objects and the determination of their reliability requires special research and processing of a large amount of statistical material. However, it is already possible to assess the reliability of a number of system elements (for example, the size of culverts, the reliability of gates, the stability of reinforcement made of reinforced concrete and stone, the reliability of water supply of pumping stations, the organization of the reliability of water accounting). The article also presents a number of measures aimed at eliminating emergency situations resulting from the operation of hydraulic structures. The structure of safety factors and the scheme of their influence on the safety of operated hydraulic structures of reclamation systems are shown.

Key words: monitoring, water management complex, gate, hydraulic structures, water management complex.

Поступила в редакцию 08.10.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 598.2(477.75)

Оценка токсичности буровых растворов для морских бентосных ракообразных

Руднева И. И.¹, Медянкина М. В.², Шайда В. Г.³

¹ Морской гидрофизический институт

Севастополь, Россия

svg-41@mail.ru

² Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского

Москва, Россия

³ Общество с ограниченной ответственностью «ЭкоСервис-А»

Москва, Россия

Интенсивное развитие нефтегазового комплекса в шельфовой зоне морей и океанов связано с применением специальных веществ, используемых при бурении скважин. Эти препараты состоят из многих компонентов, некоторые из которых обладают выраженными токсическими свойствами, которые могут оказать негативное действие как на гидробионтов, так и на здоровье людей, употребляющих их в пищу. В связи с этим возникает необходимость оценить токсичность буровых растворов и их действие на различные организмы, обитающие в прибрежной зоне морей. Целью настоящей работы явилось изучение влияния двух видов буровых растворов на морских бентосных амфиподах *Chaetogammarus olivii* (H. Milne Edwards, 1830, Amphipoda) в концентрациях 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 и 1 мг/л в течение 30 суток. Влияние буровых растворов на ракообразных оценивали по их гибели через каждые 10 суток в течение 30 суток. Результаты показали различную токсичность тестируемых буровых растворов. Препарат 1 уже на 10-е сутки эксперимента оказал токсическое действие на амфипод при концентрации 0,01 и 0,05 мг/л, на 20-е сутки такой же эффект отмечен при концентрациях 0,25 и 1 мг/л. к концу экспозиции достоверное снижение выживаемости ракообразных отмечено при концентрации 0,25 мг/л и выше. Препарат 2 оказался менее токсичным для амфипод, так как через 10 суток после начала эксперимента не обнаружено различий между опытными группами и контрольной группой. На 20-е сутки число погибших амфипод, при концентрации 0,1 и 0,25 мг/л. существенно превышало эти показатели в контроле, что было отмечено и к концу эксперимента. Результаты исследований показали выраженную токсичность буровых растворов для морских ракообразных, которые могут быть использованы в качестве тест-объектов в экотоксикологических исследованиях.

Ключевые слова: буровые растворы, гаммарус *Chaetogammarus olivii*, токсичность, выживаемость.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие нефтегазового комплекса на шельфе моря предусматривает применение специальных химических компонентов, используемых при бурении скважин. Если действие нефти и ее продуктов на морских гидробионтов достаточно полно изучено в связи с доминированием этого вида загрязнений в Мировом Океане, основными источниками поступления которого являются аварии судов и танкеров, сбросы балластных и технических вод, речной сток и атмосферные осадки, то информация о токсичности буровых растворов крайне ограничена (Патин, 2015; Beyer et al., 2016). При этом расширение объемов добычи нефти на шельфе приводит к неизбежному попаданию химикатов, применяемых для бурения скважин, в морскую среду, что может неблагоприятно сказаться на морских обитателях. Буровые растворы представляют собой сложные многокомпонентные смеси, в состав которых входят вода, органические растворители, тяжелые металлы, проявляющие токсические эффекты и обладающие мутагенной и канцерогенной активностью (Antia et al., 2022; Pereira et al., 2022). В связи с этим оценка токсичности буровых растворов и установление их допустимых концентраций в водной среде имеет важное практическое и теоретическое значение.

Изменение условий существования на фоне климатических аномалий и действия загрязнителей, также как и сами поллютанты, могут приводить к тяжелым последствиям для водных экосистем и их обитателей, особенно в местах интенсивной хозяйственной деятельности, включая нефте- и газодобычу. Это важно учитывать при разработке тест-

систем, использующих в качестве тест-объектов морских гидробионтов, подвергающихся действию токсических веществ. При этом следует принимать во внимание концентрации токсикантов, которые могут вызывать неоднозначные эффекты у живых организмов, что было показано для нефтяного загрязнения (Hansen et al., 2018).

Цель работы заключалась в оценке влияния двух видов буровых растворов (препарат 1, состоящий из смеси: Глицин, N,N-бис(карбоксиметил)-аммониевая соль (1:2) и препарат 2, в составе которого присутствует трис[тетраakis(гидрокси)метил] фосфоний]сульфат), применяемых при бурении нефтяных и газовых скважин, на амфипод *Chaetogammarus olivii* (H. Milne Edwards, 1830).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве тест-объекта использовали гаммарусов *Chaetogammarus olivii* (H. Milne Edwards, 1830), отловленных в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя (бухты Карантинная и Омега).

Отловленных ракообразных помещали в аквариумы объемом 500 мл по 10 экземпляров в каждый и адаптировали к условиям эксперимента в течение недели при естественном освещении (продолжительность светового дня 12 часов) и температуре $+22\pm 2$ °C. Опыты проводили в трехкратной повторности в течение 30 суток. Контролем служила естественная морская вода соленостью 18 ‰ без добавления веществ. Эксперименты проводили в соответствии со стандартными методами (Вода. Методы определения, 1999; Методические рекомендации, 2009). Действие токсикантов исследовали в концентрациях 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 и 1 мг/л. Воду меняли через каждые 10 суток с добавлением соответствующих концентраций препаратов. Влияние буровых растворов на ракообразных оценивали по их гибели через каждые 10 суток в течение 30 суток. В процессе эксперимента гаммарусов кормили измельченными бурыми водорослями и сушеными дафниями.

Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее значение, ошибку среднего. Сравнение результатов проводили с помощью критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05. Корреляционный анализ между показателями выживаемости амфипод, концентрацией токсикантов и периодами анализа показателей выживаемости осуществляли с помощью компьютерной программы CURFVIT.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали выраженное токсическое действие препаратов при разных концентрациях, о чем свидетельствует повышенная гибель амфипод по сравнению с контролем (табл. 1 и 2).

Из представленных данных по влиянию препарата 1 на амфипод можно видеть, что на 10-е сутки эксперимента существенные различия с контролем обнаружены при концентрации 0,01 и 0,05 мг/л. На 20-е сутки такой же эффект отмечен при концентрациях 0,25 и 1 мг/л. На 25 день эксперимента и к его окончанию достоверное снижение выживаемости ракообразных установлено при концентрации 0,25 мг/л и выше. Отсюда можно заключить, что минимальной недействующей концентрацией препарата 1 является 0,05 мг/л, а пороговой 0,1 мг/л. Препарат 2 оказался менее токсичным для амфипод, что следует из данных, приведенных в таблице 2.

Спустя 10 суток после начала эксперимента не обнаружено различий между опытными и контрольной группами. На 20-е сутки число погибших амфипод, инкубируемых в растворах токсиканта с концентрацией 0,1 и 0,25 мг/л, существенно превышало эти показатели в контроле. Такая же тенденция была отмечена и в конце эксперимента.

Таким образом, результаты исследований позволили выявить различную токсичность двух исследуемых буровых растворов на амфипод. В обоих случаях отмечена возрастающая гибель ракообразных в течение тестируемого периода времени как в контроле, так и в опытных группах с различной концентрацией токсиканта. При этом установлена высокая корреляция между параметрами выживаемости ракообразных и временем эксперимента (табл. 3), что свидетельствует о наличии прямой зависимости между этими параметрами.

Таблица 1

Влияние препарата 1 при концентрации 0,05–1 мг/л на выживаемость амфипод

Концентрация, мг/л	Выживаемость, %									
	Сутки опыта									
	1-е		10-е		20-е		25-е		30-е	
	M ± m	M ± m	p	M ± m	p	M ± m	p	M ± m	p	
Контроль	100,0 ± 0,0	86,7 ± 7,2		60,0 ± 4,7		60,0 ± 4,7		60,0 ± 4,7		
0,05 мг/л	100,0 ± 0,0	86,7 ± 7,2	н/д	53,3 ± 2,7	н/д	53,3 ± 2,7	н/д	46,7 ± 2,7	н/д	
0,1 мг/л	100,0 ± 0,0	60,0 ± 0,0	<0,01	50,0 ± 8,2	н/д	50,0 ± 8,2	н/д	43,3 ± 5,4	н/д	
0,25 мг/л	100,0 ± 0,0	63,3 ± 5,4	н/д	40,0 ± 4,7	<0,05	36,7 ± 2,7	<0,01	33,3 ± 2,7	<0,01	
0,5 мг/л	100,0 ± 0,0	63,3 ± 2,7	<0,01	50,0 ± 0,0	н/д	36,7 ± 5,4	<0,05	20,0 ± 0,0	<0,001	
1 мг/л	100,0 ± 0,0	53,3 ± 9,8	н/д	26,7 ± 7,2	<0,05	20,0 ± 8,2	<0,01	13,3 ± 5,4	<0,001	

Примечание к таблице. Здесь и далее н/д – различие не достоверно

Таблица 2

Влияние препарата 2 в концентрации 0,05–1 мг/л на выживаемость амфипод

Концентрация, мг/л	Выживаемость, %									
	Сутки опыта									
	1-е		10-е		20-е		25-е		30-е	
	M ± m	M ± m	p	M ± m	p	M ± m	p	M ± m	p	
Контроль	100,0 ± 0,0	80,0 ± 8,2		70,0 ± 9,4		60,0 ± 12,6		40,0 ± 4,7		
0,05 мг/л	100,0 ± 0,0	56,7 ± 0,9	н/д	43,3 ± 5,4	н/д	30,0 ± 0,0	н/д	30,0 ± 0,0	н/д	
0,1 мг/л	100,0 ± 0,0	76,7 ± 5,4	н/д	30,0 ± 0,0	<0,01	40,0 ± 8,2	н/д	13,3 ± 5,4	<0,01	
0,25 мг/л	100,0 ± 0,0	53,3 ± 4,4	н/д	40,0 ± 0,0	<0,01	33,3 ± 5,4	н/д	20,0 ± 4,7	<0,05	
0,5 мг/л	100,0 ± 0,0	70,0 ± 8,2	н/д	56,7 ± 2,7	н/д	40,0 ± 4,7	н/д	26,7 ± 2,7	н/д	
1 мг/л	100,0 ± 0,0	66,7 ± 9,8	н/д	50,0 ± 4,7	н/д	43,3 ± 2,7	н/д	26,7 ± 2,7	н/д	

В меньшей степени зависимость выражена между концентрацией препарата и выживаемостью амфипод, что можно видеть на основании данных, представленных в таблице 4. При этом если для препарата 1 зависимость между концентрацией и выживаемостью гаммарусов выражена достаточно четко и существует высокая корреляция, которая особенно проявлялась на последних этапах эксперимента, то для препарата 2 такой зависимости не установлено. Полученные данные могут отражать разные механизмы влияния буровых растворов на морских амфипод и их адаптационные возможности, что следует учитывать при проведении токсикологических экспериментов.

Амфиподы широко распространены в прибрежной части морей и океанов, где играют важную роль, поскольку входят в пищевые цепи морских рыб и беспозвоночных (Гринцов, 2022). Они применяются в качестве тест-объектов в токсикологических исследованиях, в которых оценивают физиологическое состояние и поведенческие реакции ракообразных, под действием загрязнителей в острых и хронических опытах (Zauke et al., 2003). Так например, при действии различных концентраций ионов серебра у *Gammarus fossarum* было показано снижение выживаемости, изменение метаболизма и локомоторной функции, ингибирование ферментов антиоксидантной защиты и возрастание перекисного окисления липидов, обусловленное затратами энергии на осморегуляцию и детоксикацию (Arc Funck et al., 2013). Сходные результаты были получены при анализе токсического действия ионов кадмия на *Gammarus pulex*: по сравнению с контролем смертность ракообразных, экспонированных в

растворах с токсикантом, возрастала, концентрация ионов кальция в гемолимфе падала, а активность Na^+/K^+ -АТФ-азы значительно возрастала. Пищевое поведение, двигательная активность, локомоторные функции также снижались (Felten et al., 2008)

Таблица 3

Корреляции между значениями выживаемости амфипод и длительностью эксперимента (сутки)

Концентрация, мг/л	Корреляции			
	Препарат 1		Препарат 2	
	R^2	r	R^2	r
Контроль	0,90	0,62	0,95	0,94
0,05 мг/л	0,94	0,93	0,90	0,87
0,1 мг/л	0,82	0,77	0,94	0,91
0,25 мг/л	0,92	0,89	0,91	0,88
0,5 мг/л	0,97	0,96	0,98	0,97
1 мг/л	0,93	0,31	0,94	0,93

Примечание к таблице. R^2 – коэффициент детерминации; r – коэффициент корреляции.

Таблица 4

Корреляции между значениями выживаемости амфипод и концентрацией препаратов в течение 30 суток

Период, сутки	Корреляции			
	Препарат 1		Препарат 2	
	R^2	r	R^2	r
10	0,53	0,44	0,01	-0,23
20	0,75	0,68	0,10	-0,24
25	0,89	0,87	0,89	0,83
30	0,83	0,79	0,01	-0,24

Примечание к таблице: R^2 – коэффициент детерминации; r – коэффициент корреляции.

При изучении влияния препаратов ибупрофена и флуоксетина на двигательную активность *G. pulex* была установлена зависимость от концентрации ксенобиотиков: при увеличении содержания фармпрепаратов происходило снижение активности амфипод (De Lange et al., 2006). Таким образом, амфиподы реагируют на токсичность среды, что проявляется в их физиологических, поведенческих реакциях и показателях выживаемости/смертности, которые могут быть использованы для проведения экотоксикологического анализа водных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о токсичности тестируемых буровых растворов, которые даже в относительно небольших концентрациях могут привести к гибели амфипод, спровоцировать другие негативные эффекты для бентосных сообществ и таким образом существенно их модифицировать и привести к гибели некоторых компонентов. Определение токсичности буровых растворов на морских гидробионтах позволит выявить наиболее безопасные препараты для морских сообществ, а также их допустимые концентрации для морской среды, что важно при установлении ПДК.

Список литературы

- Вода. Методы определения токсичности по выживаемости морских ракообразных. ГОСТ Р 53886-2010 (ИСО 14669:1999)
- Гинцов В. А. Таксономическое разнообразие Amphipoda (Crustacea) Черного и Азовского морей // Морской биологический журнал – 2022. – Т. 7, № 1. – С. 34–45
- Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утв. приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.2009 г.
- Патин С. А. Морской нефтегазовый комплекс: факторы экологического риска // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 4. – С. 5–14.
- Antia M., Ndidiamaka A., Ezejiolor A., Obasi C. N., Orisakwe O. E., Environmental and Public health effects of Spent Drilling Fluid: an updated systematic review // Journal of Hazardous Materials Advances. – 2022. – 100120
- Arce Funck J., Danger M., Gismondi E., Cossu-Leguille C., Guérol F., Felten V. Behavioural and physiological responses of *Gammarus fossarum* (Crustacea Amphipoda) exposed to silver // Aquatic Toxicology. – 2013. – Vol. 142–143. – P. 73–80
- Beirao J., Baillon L., Litta, M. A. Langlois V. S., Craig F., Purchase C. Impact of crude oil and the dispersant Corexit™ EC9500A on capelin (*Mallotus villosus*) embryo development // Marine Environmental Research. – 2019. – Vol. 147. – P. 90–100
- Beyer J., Trannum H. C., Bakke T., Hodson P. V., Tracy K., Collier T. K. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: A review // Marine Pollution. Bulletin. – 2016. – Vol. 110, is. 1. – P. 28–51.
- De Lange H. J., Noordoven W., Murk A. J., Lurling M., Peeters E. T. H. M. Behavioural responses of *Gammarus pulex* (Crustacea, Amphipoda) to low concentrations of pharmaceuticals // Aquatic Toxicology. – 2006. – Vol. 78. – P. 209–216.
- Felten V., Charmantier G., Mons R., Geffard A., P. Rousselle P., Coquery M., Garric J., Geffard O. Physiological and behavioural responses of *Gammarus pulex* (Crustacea: Amphipoda) exposed to cadmium // Aquatic Toxicology. – 2008. – Vol. 86. – P. 413–425
- Hansen B. H., Farkas J., Nordtug T., Peter V., Hodson P. V., Tracy K., Collier T. K. Does microbial biodegradation of water-soluble components of oil reduce the toxicity to early stages of fish? // Environmental Science and Technology. – 2018. – Vol. 162. – P. 59–62.
- Pereira L. B., Sad Eustáquio C. M. S., Castro V. R., Filgueiras P. R., Lacerda V. Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review // Fuel. – 2022. – Vol. 310. – Part B. – 122301.
- Rudneva I. I. Biomarkers for stress in fish embryos and larvae. CRC Press. Taylor & Francis Group. – 2014. – 206 pp.
- Rudneva I. I. Use of fish embryo biomarkers for the evaluation of mazut toxicity in marine environment // International Aquatic Research. – 2019. – Vol. 11. – P. 147–157
- Samuelsen A., Daewe U., Wettre C. Risk of oil contamination of fish eggs and larvae under different oceanic and weather conditions ICES // Journal of Marine Science. – 2019. – Vol. 76, is. 6. – P. 1902–1916.
- Zauke G.-P., Clason B., Savinov V. M., Savinova T. Heavy metals of inshore Benthic invertebrates from the Barents Sea // Science of the Total Environment. – 2003. – Vol. 306. – P. 99–110.

Rudneva I. I., Medaynkina M. V., Shaida V. G. Toxic evaluation of drilling fluids on marine Amphipoda // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 140–144.

The intensive development of oil-gas complex in shelf zone of the seas and ocean is connected with the application of the specific chemicals, used in the processes of drilling. These components contain various chemicals, several of which are toxic and influence negative effects both aquatic organisms and public health of the people, using them in the food. Therefore, it is important to evaluate the toxicity of drilling fluids and their effects on the aquatic organisms inhabiting in the coastal areas of the seas and ocean. The aim of the present study was to analyze the influence of two kinds of drilling fluids on marine benthic amphipoda *Chaetogammarus olivii* (H. Milne Edwards, 1830, Amphipoda) in the concentrations 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 and 1 mg/l during the period of 30 days. The effect of toxicants on the crustaceans evaluate for their mortality via every 10 days during the month. The obtained results demonstrated different toxicity of tested chemicals. The drilling fluid 1 demonstrated the toxic effect at 10-th day of the exposition at the concentration of 0.01 и 0.05 mg/l, at 20-th day. The same effect was observed at the concentration of 0.25 и 1 mg/l. At the end of the experiment the significant decrease of the survival of amphipoda was indicated at the concentration of 0.25 mg/l and higher. The toxicity of drilling fluid 2 was less for crustacean, because from 10 days after the beginning of the exposition no differences between experimental and control groups were observed. At 20-th day the number of the mortality at the concentration 0.1 and 0.25 mg/l was significantly increased as compared with the control, this tendency was kept at the of the experiment. The results obtained demonstrated the toxicity of the tested drilling fluids for marine crustacean, which can use as test-organisms in ecotoxicological studies.

Key words: drilling fluids, amphipoda *Chaetogammarus olivii*, toxicity, mortality.

Поступила в редакцию 03.12.22
Принята к печати 30.12.22.

УДК 502:37.033

Опыт Российского образовательного проекта «Экологическое Содружество»: сочетание инновационных подходов с традиционными методами обучения

Рыхликова М. Е.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия
ecofriends@yandex.ru*

В текущем году Российскому образовательному проекту «Экологическое Содружество», реализуемому на факультете почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова, исполняется 25 лет. Первый в Российской Федерации широкомасштабный экологический образовательный проект, основанный на разработках отечественной научной школы, успешно сочетает компьютерные технологии, прежде всего, средства телекоммуникаций, с традиционными методами и формами обучения. Проект объединяет в единую сеть более 300 учреждений основного и дополнительного образования со всей территории Российской Федерации, а также из нескольких регионов Белоруссии и Казахстана. Ежегодно более 4 тысяч детей и подростков школьного возраста под руководством более 400 педагогов проводят экологические научные исследования и участвуют в мероприятиях по сохранению и защите природы. В «Экологическом Содружестве» развиваются шесть направлений проектной исследовательской работы: «Ботанические исследования», «Зоологические исследования», «Гидробиологические исследования и мониторинг водных экосистем», «Мониторинг наземных экосистем», «Экологическое почвоведение», «Особо охраняемые природные территории». В помощь педагогам издана серия учебно-методических материалов, размещены обучающие страницы на сайте Проекта, кураторами направлений осуществляется консультационная поддержка участников в семи форумах «Экологического Содружества». Обучение юных экологов и повышение квалификации руководителей школьных коллективов осуществляется на лекциях, семинарах и вебинарах, практических занятиях в учебное время и в летних экологических лагерях. Проект сотрудничает с отделами экологического просвещения нескольких заповедников и национальных парков России, а также участвует в развитии международного взаимодействия природоохранных организаций. В рамках реализации Проекта проведена 21 Всероссийская с международным участием конференция «Природу России сохраняют дети», архивы которой содержат уникальный методический материал для педагогов, организующих проектную научно-исследовательскую работу детей и подростков.

Ключевые слова: экологическое образование и воспитание, информационные технологии, телекоммуникации, школьники, охрана окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая безопасность как «состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» (Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», 2002), является необходимым условием устойчивого развития страны. Один из важнейших механизмов обеспечения экологической безопасности – последовательное и непрерывное формирование экологического мировоззрения и культуры населения (Башлакова, 2015; Рыхликова, 2017).

В 2012 году государством были определены задачи по развитию экологического образования, воспитания и просвещения (Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, 2012):

– обеспечение направленности процесса воспитания и обучения в образовательных учреждениях на формирование экологически ответственного поведения, в том числе посредством включения в федеральные государственные образовательные стандарты соответствующих требований к формированию основ экологической грамотности у

обучающихся;

- развитие системы подготовки и повышения квалификации в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности руководителей организаций и специалистов, ответственных за принятие решений при осуществлении экономической и иной деятельности, которая оказывает или может оказать негативное воздействие на окружающую среду;

- включение вопросов формирования экологической культуры, экологического образования и воспитания в государственные, федеральные и региональные программы.

Особая роль в решении поставленных задач отводится профильным учреждениям высшего и среднего образования.

В 1997 году в Институте экологического почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова, ныне преобразованном в Лабораторию экологического почвоведения на факультете почвоведения МГУ, был организован Российский образовательный телекоммуникационный проект «Экологическое Содружество» (www.ecosoop.ru), объединивший в единую активно взаимодействующую сеть более 300 организаций основного и дополнительного образования Российской Федерации и нескольких регионов Белоруссии и Казахстана. Проект реализуется на факультете и в настоящее время в рамках долговременной программы Московского государственного университета «МГУ – школе».

Цели Проекта – совершенствование системы экологического образования и просвещения, популяризация современных научных знаний для подрастающего поколения, активизация научно-исследовательской и природоохранной деятельности детей и молодежи, методическая поддержка эколого-просветительской работы образовательных учреждений России. Проект направлен на разработку и внедрение в экологическое образование инновационных методов и форм обучения, развитие партнерских отношений и международное сотрудничество образовательных организаций (Рыхликова, 2005, 2016).

Цель настоящей работы – проанализировать опыт Российского образовательного проекта «Экологическое Содружество» в реализации инновационных подходов в сочетании с традиционными методами обучения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На момент создания Проекта «Экологическое Содружество» далеко не каждая городская школа обладала компьютерным классом, в некоторых сельских образовательных учреждениях порой и один компьютер был недостижимой мечтой. Вместе с тем, для организаторов Проекта было очевидно, что применение информационных технологий и, прежде всего, средств телекоммуникаций позволит решать проблемы экологического образования на качественно ином уровне:

- создать сеть дистанционного обучения детей и молодежи, охватывающую всю территорию страны;
- организовать совместную научно-исследовательскую и природоохранную деятельность учащихся, находящихся в удаленных друг от друга регионах России;
- осуществлять методическую поддержку педагогов, способствовать повышению их квалификации;
- обеспечить оперативную консультационную помощь и обмен опытом участвующих в Проекте коллективов.

Были разработаны и размещены на сайте «Экологического Содружества» обучающие страницы, компьютерные определители, созданы семь разделов форума, в которых кураторы направлений – специалисты с многолетним стажем педагогической работы – имели возможность консультировать участников по всем возникающим вопросам.

Создание дистанционной системы экологического образования как основы Проекта не

исключало использование традиционных методов и форм обучения: организацию в Московском университете и в регионах лекций и семинаров для педагогов, проведение мастер-классов для школьников в учебное время и в летних экологических лагерях. Напротив, лекции и практические занятия с учащимися в лабораториях и в природных экосистемах успешно дополняли знания, полученные ими дистанционно, способствовали установлению контактов и общению участников из разных областей страны. В помощь руководителям школьных коллективов в Проекте были изданы методические пособия «Редкие растения моего края», комплект «Первоцветы», «Биоиндикация состояния пресного водоема», «Охраняемые природные территории», комплект пособий по лишенологии и лишеноиндикации, регулярно закупались и рассылались новейшие методические материалы других издательств.

География Проекта «Экологическое Содружество» охватывает всю территорию Российской Федерации от Калининграда до Камчатки, от Астрахани до Сыктывкара. Ежегодно в Проекте принимают участие более 4 тысяч школьников под руководством около 400 педагогов основного и дополнительного образования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Проекте «Экологическое Содружество» реализуются три комплексные учебные программы для школьников: «Сохранение биологического разнообразия», «Экология и контроль состояния окружающей среды (Экологический мониторинг)», «Экологическое почвоведение», – и две программы повышения квалификации учителей школ и педагогов дополнительного образования: «Организация проектной эколого-исследовательской и природоохранной работы в школе», «Экологическое почвоведение для педагогов».

Учебные программы включают шесть направлений научно-исследовательской проектной работы школьников:

Ботанические исследования: Изучение и сохранение раннецветущей флоры. Редкие и исчезающие растения моего края. Изучение видового разнообразия растений конкретной территории. Исследование растительности и экологического состояния старинных усадеб и парков, возможные меры по их сохранению и восстановлению. Инициативные работы по экологии популяций отдельных видов, групп растений и растительных сообществ.

Зоологические исследования: Исследование экологии насекомых и других беспозвоночных животных. Изучение экологии отдельных видов и групп амфибий, рептилий, птиц, млекопитающих. Изучение и сохранение видов животных, занесенных в Красные книги (региональные и Красную книгу Российской Федерации). Наблюдения за синантропными животными: специфика экологических проблем и предлагаемые меры по их решению.

Гидробиологические исследования и мониторинг водных экосистем: Комплексное исследование водоемов. Биологическая индикация состояния природных водоемов и возможные меры по их охране. Качество питьевой воды и влияние ее на здоровье людей. Экология отдельных видов и групп гидробионтов.

Мониторинг наземных экосистем: Оценка состояния атмосферного воздуха методом лишеноиндикации. Описание жизненного состояния лесов. Экологическая оценка состояния лугов по растительному покрову. Оценка рекреационной нагрузки природной территории. Определение влияния автотранспорта на качество воздуха и прилегающие к трассам территории. Изучение запыленности атмосферы и влияния качества воздуха помещений на здоровье людей. Проекты, посвященные анализу бытового мусора, исследованию сбора и утилизации твердых бытовых отходов в микрорайоне, селе, городе. Инициативные работы в области мониторинга наземных экосистем.

Экологическое почвоведение: Изучение почв и почвенных свойств (морфологических, химических и других) конкретной территории. Изучение природных условий, влияющих на формирование почв края (области, района, города, села). Анализ различных аспектов взаимодействия почв с другими природными средами: атмосферой, гидросферой, литосферой, биосферой. Работы в области почвенной зоологии. Изучение влияния

человеческой деятельности на почвы. Инициативные работы в области почвоведения.

Особо охраняемые природные территории (ООПТ): Комплексное обследование ООПТ. Комплексное обследование интересных природных объектов с целью их сохранения. Проектирование новых памятников природы. Природоохранная работа на ООПТ: проектирование экологических троп, очистка территории, просветительская работа с посетителями национальных парков и другая волонтерская работа.

В рамках этих направлений организуется совместная исследовательская работа образовательных коллективов из разных регионов, телекоммуникационное общение участников, обмен и обсуждение полученных результатов. Пример такой работы – реализация в Проекте исследовательской и природоохранной программы «Глоток жизни», в которой приняли участие школы и учреждения дополнительного образования из 16 регионов Российской Федерации. Для педагогов – руководителей школьных коллективов на базе национального парка «Лосинный остров» был организован обучающий семинар, где участники программы безвозмездно получили комплекты реактивов для проведения анализов питьевой воды. Результат программы – публикация на сайте «Экологического Содружества» данных о состоянии 216 источников питьевой воды, проведение учащимися мероприятий по очистке и благоустройству природных источников, установке у родников информационных щитов, участие школьников в просветительской работе с населением, в том числе с привлечением местных средств массовой информации (Рыхликова, 2016).

Исследование водоемов оказалось наиболее востребованной тематикой при разработке международной мультязычной платформы «Biodiversity Detectives» («BioDets» / «БиоДетс»). В 2002-2005 годах в рамках российско-германского сотрудничества в области охраны окружающей среды сотрудниками российского проекта «Экологическое Содружество» и немецкого проекта «Натурдетектив» при финансовой поддержке Ведомства охраны природы Германии было организовано совместное изучение школьниками из нескольких стран истории местных водных объектов и исследование их экологического состояния с помощью методов биологической индикации. Новизна «БиоДетс» заключалась в создании многоязычного портала, где школьники и учителя каждой страны могли чувствовать себя комфортно благодаря наличию обучающих материалов, методик и форума на родном языке и, вместе с тем, общаться с участниками из других стран, используя возможность читать и публиковать отчеты на нескольких языках.

Коммуникативная платформа «БиоДетс» была представлена на VII Международной конференции стран-участниц Конвенции о биологическом разнообразии (Малайзия, 2004 год). В выполнении заданий первого пилотного проекта платформы, посвященного проблемам исследования и сохранения водных ресурсов планеты, приняли участие 21 эколого-образовательная организация из России, Белорусский Республиканский экологический центр учащихся, Ассоциированная школа ЮНЕСКО из Казахстана, 6 немецких и 2 финские школы. Российские команды оформили свои отчеты на русском, английском и немецком языках (Rykhlikova, 2011).

Существенное внимание уделяется в Проекте популяризации научных знаний в области экологического почвоведения. Просвещение населения, его участие в работе по сохранению почвенных ресурсов являются одной из ключевых задач в сфере управления почвами и землями России (Добровольский, Куст, 2011). Тематика почвенных исследований, которые доступны и выполняются школьниками, весьма обширна:

- изучение природных почв конкретного региона;
- изучение отдельных физико-химических и агрономических свойств почв;
- исследование состояния городских почв;
- исследование состава и функций комплексов почвенной фауны в различных типах почв;
- индикационная геоботаника;
- фитотестирование почв и почвенных вытяжек;
- оценка влияния различных антропогенных факторов на экологическое состояние

территорий;

- утилизация и сокращение бытовых отходов с целью очищения почв;
- изучение эрозионных процессов и способов борьбы ними.

За годы реализации Проекта специалисты факультета адаптировали многие научные методы исследования почв и провели большую работу по повышению квалификации учителей в данной области (Добровольский, Куст и др., 2012, с. 545-560).

Исследовательские проекты школьники представляют на ежегодную Всероссийскую с международным участием конференцию «Природу России сохраняют дети». Конференция проводится с 1999 года в семи форумах Проекта «Экологическое Содружество», что позволяет участникам, не выезжая с мест, опубликовать и обсудить результаты своих исследований, получить рекомендации специалистов. Все участники конференции – и школьники, и педагоги-руководители – награждаются грамотами. Победителям и призерам конференции рассылаются также энциклопедии о природе, определители, книги. Организаторы Проекта рассматривают это как еще один способ оснастить региональные учебные центры и учреждения новейшей литературой экологической направленности.

За время реализации Проекта «Экологическое Содружество» была проведена 21 конференция. Архивы конференций, где только за последние 10 лет опубликованы 956 исследовательских проектов учащихся от 1 до 11 классов (табл. 1), содержат обширный методический материал для педагогов, планирующих проектную научно-исследовательскую работу в школах и учреждениях дополнительного образования.

Таблица 1

Сведения об участниках конференций «Природу России сохраняют дети» и количестве представленных экологических научно-исследовательских проектов за 2011–2020 годы

Конференция	Количество проектов	Участники				
		Школьники	Педагоги	Учреждения	Регионы	Страны
XII	140	255	74	58	14	РФ
XIII	91	141	88	69	34	РФ, Казахстан
XIV	57	127	40	16	7	РФ, Белоруссия
XV	102	190	85	65	24	РФ
XVI	61	94	58	49	25	РФ
XVII	98	155	70	50	22	РФ, Белоруссия, Казахстан
XVIII	66	111	50	42	20	РФ, Белоруссия
XIX	101	143	97	77	34	РФ, ДНР
XX	94	105	78	61	25	РФ, ЛНР
XXI	146	161	125	101	40	РФ, Белоруссия, Казахстан

Шесть направлений исследований, которые учащиеся выполняют в природных и антропогенных экосистемах, тесно связаны с шестью направлениями практической природоохранной работы. В Проекте проводятся творческие литературно-художественные конкурсы («Моя синяя птица», «Они должны жить»). Школьники участвуют в мероприятиях и акциях по сохранению и защите природы. Так, в рамках природоохранной программы «Галактические эксперты» группы юных экологов занимаются облагораживанием школьных и придомовых территорий, в программе «Наши пернатые друзья» – развешивают искусственные гнездовья и кормушки для птиц, в программе «Заповедник просит о помощи» – оказывают посильную волонтерскую помощь особо охраняемым природным территориям.

Результаты природоохранной деятельности освещаются на сайте Проекта.

В настоящее время дистанционные лекции и семинары, или вебинары, прочно вошли в нашу жизнь. Такой формат обучения экономичен, доступен, позволяет существенно расширить аудиторию слушателей, обеспечив им равные возможности в освоении материала. Но в 2010 году при подготовке первых вебинаров, посвященных ресурсосбережению и оздоровлению окружающей среды, преподавателям Проекта для достижения поставленных образовательных задач потребовалось сосредоточиться на выборе программного обеспечения, разработке сценариев, создании ярких и информативных презентаций, организации интерактивного взаимодействия участников. В последующие годы было проведено 19 вебинаров по проблемам утилизации отходов, созданию экологических троп, фитодизайну классов, ландшафтному дизайну школьной территории (Рыхликова, Мартыненко, 2014; Рыхликова, 2017).

Этот опыт оказался особенно востребован в период пандемии и применен преподавателями факультета при проведении научно-педагогической практики магистров, во время которой ежегодно организуется кратковременная летняя экологическая школа для детей и подростков. Привлекаемые к обучению школьники не только получают новые знания, но и выступают экспертами, оценивая педагогическую работу студентов. Не имея возможности перечислить темы всех подготовленных магистрами вебинаров для школьников, отметим лишь некоторые из них (Рыхликова, Мартыненко и др., 2021):

- «Разбить цепи голода: путь человечества к обеспечению продовольственной безопасности»;
- «Жизнь после природных и техногенных катастроф»;
- «Что могут рассказать о почве ее обитатели»;
- «Когда воздух дороже золота: чем дышат космонавты»;
- «Молекулярные методы в почвоведении»;
- «Радиоактивность в жизни природы и человека: мифы и реальность».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значение Российского образовательного проекта «Экологическое Содружество» трудно переоценить. На протяжении 25 лет реализации Проекта экологические знания получили десятки тысяч школьников, профессиональную квалификацию повысили сотни педагогов из 52 регионов Российской Федерации. Тысячи детей и подростков приняли участие в социально значимых мероприятиях по сохранению и защите природы. Многие участники Проекта после окончания школы связали свою профессиональную карьеру с экологией и охраной окружающей среды.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность Фонду «Устойчивое Развитие» (Москва), исполнительному директору Фонда О. С. Фокину, директору по развитию и связям Е. А. Львудиной, менеджеру проектов Е. А. Бондарчук, сотруднику Министерства природных ресурсов и экологии Н. Ф. Церцек, главному научному сотруднику Института географии РАН д. б. н. Г. С. Кусту за всестороннюю поддержку Проекта «Экологическое Содружество». Автор благодарит кураторов Проекта: сотрудников факультета почвоведения МГУ к. б. н. доцента А. А. Рахлееву, старшего преподавателя И. А. Мартыненко, директора Эколого-биологического центра «Крестовский остров» А. Р. Ляндзберга, педагога Центра М. Г. Басса (Санкт-Петербург), М. А. Клепикова (Ярославль), А. А. Могильнер (Обнинск), М. В. Кравченко (Москва) за многолетнюю подвижническую работу по развитию и совершенствованию Проекта. Автор признателен дизайнеру веб-сайта Проекта А. В. Ладыгину, а также сотрудникам факультета почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова к. б. н. доценту Н. В. Орешниковой, к. б. н. ведущему научному сотруднику Н. А. Аветову, директору Центра дополнительного образования «ЭкоМир» Липецкой области Н. С. Лаврентьевой, педагогам ЭБЦ «Крестовский остров» Н. В. Николаевой, И. В. Черепанову за участие в работе жюри Всероссийской с международным участием конференции «Природу России сохранят дети».

Список литературы

- Башлакова О. И. Экологическая безопасность как основа устойчивого развития современной России // Среднерусский вестник общественных наук, 2015. – № 2. – С. 16–22.
- Добровольский Г. В., Куст Г. С. Ключевые проблемы в сфере управления почвами и землями России и возможные пути их решения // Роль почв в биосфере: Труды Института экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. – Вып. 11. – М.: МАКС Пресс, 2011. – С. 5–30.
- Добровольский Г. В., Куст Г. С., Чернов И. Ю. и др. Почвы в биосфере и жизни человека: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – 584 с.
- Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года (утв. Президентом РФ от 30 апреля 2012 г.) // Система ГАРАНТ: <http://base.garant.ru/70169264/#ixzz4nBFy8S3o>
- Рыхликова М. Е. Опыт создания и функционирования системы дистанционного экологического обучения школьников и повышения квалификации педагогических кадров // Роль почв в биосфере: Труды Института экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. – Вып. 5. – М.: Издательство «Советский спорт», 2005. – С. 153–166.
- Рыхликова М. Е. Экологическое образование и телекоммуникации // Природа и общество: технологии обеспечения продовольственной и экологической безопасности. Под ред. Ковалевой Н. О., Костовска С. К., Борисовой Е. А., серия «Социально-естественная история. Генезис кризисов природы и общества в России». – М.: МАКС Пресс, 2016. – Т. 40. – С. 279–285.
- Рыхликова М. Е. Совершенствование системы экологического образования и просвещения населения как необходимое условие устойчивого развития и экологической безопасности // Человек и природа. Материалы XXVII Международной междисциплинарной конференции «Проблемы социально-естественных исследований» и Международной междисциплинарной молодежной школы «Стратегии экологической безопасности» / под ред. Н. О. Ковалевой, С. К. Костовска, А. С. Некрич, О. А. Салимгареевой. – М.: МАКС Пресс, 2017. – С. 126–131.
- Рыхликова М. Е., Мартыненко И. А. Практика проведения вебинаров по экологии и охране природы для школьников // Роль почв в биосфере: Труды Института экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова / [Под ред. Н. О. Ковалевой]. – М.: МАКС Пресс, 2014. – Вып. 14. – С. 157–162.
- Рыхликова М. Е., Мартыненко И. А., Орешникова Н. В., Рахлеева А. А., Кириллова В. А. Научно-педагогическая практика магистров в условиях пандемии: специфика дистанционного формата проведения // Экология речных бассейнов. Труды 10-й Международной научно-практической конференции / [Под общей редакцией проф. Т. А. Трифионовой] – Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, 2021 – С. 349–354.
- Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Электронный ресурс: <http://www.consultant.ru/popular/oksred/>
- Rykhlikova, Marina E. Ecological Cooperation: A Russian Network Project for Environmental Education, Communications and Biodiversity Conservation // Biology International. The Official Journal of the International Union of Biological Sciences (IUBS). – N.50. – December 2011: Special Issue “Global Conservation Education”. – P. 45–50.

Rykhlikova M. E. The experience of the Russian educational project “Ecological Cooperation”: a combination of innovative approaches with traditional teaching methods // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 145–151.

This year, the Russian educational project “Ecological Cooperation”, implemented at the Faculty of Soil Science of the Lomonosov Moscow State University, turns 25 years old. The first large-scale ecological educational project in the Russian Federation, based on the developments of the national scientific school, successfully combines computer technologies, primarily telecommunications, with traditional methods and forms of education. The Project unites into a single network more than 300 institutions of basic and additional education from all over the Russian Federation, as well as from several regions of Belarus and Kazakhstan. Every year, more than 4,000 school-age children and adolescents, under the guidance of more than 400 teachers, conduct environmental research and participate in activities to preserve and protect nature. In the “Ecological Cooperation”, six directions of project research work are being developed: Botanical Research, Zoological Research, Hydrobiological Research and Monitoring of Aquatic Ecosystems, Monitoring of Terrestrial Ecosystems, Ecological Soil Science, and Specially Protected Natural Areas. To help teachers, a series of educational and methodological materials was published, training pages were posted on the Project website, curators of directions provide consulting support to participants in seven forums. Education of young ecologists and advanced training of leaders of school groups is carried out at lectures, seminars and webinars, practical classes during school hours and in summer environmental camps. The Project cooperates with environmental education departments of several nature reserves and national parks in Russia, and also participates in the development of international cooperation between environmental organizations. As part of the Project implementation, 21 All-Russian Conferences with international participation “Children will conserve the nature of Russia” were held, the archives of which contain unique methodological material for teachers organizing project research work for children and adolescents.

Key words: environmental education and upbringing, information technology, telecommunications, schoolchildren, environmental protection.

*Поступила в редакцию 03.12.22
Принята к печати 30.12.22*

УДК 614.9:504.054:574.24:636.03:612.799.1(470.41)

Оценка содержания тяжелых металлов в волосяном покрове крупного рогатого скота при контроле качества животноводческой продукции

*Салихов Д. Г.¹, Гайфутдинова Н. Р.¹, Выборнова И. Б.¹, Галимзянов И. Г.²,
Ефимова М. А.^{1,2}, Шуралев Э. А.^{1,2,3}*

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет

Казань, Россия

SDamirV5@yandex.ru

² Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана

Казань, Россия

³ Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России

Казань, Россия

Тяжелые металлы - это элементы, вредные для организма животных и людей. В природе тяжелые металлы естественным образом присутствуют практически во всех живых организмах. Часть из них нужны живым организмам как микроэлементы, а некоторые приносят только вред всем живым организмам, вплоть до гибели организма. Опасность тяжелых металлов заключается в их способности кумулироваться в организме. Тяжелые металлы обладают свойством передаваться по трофической цепи. Растения корнями поглощают из почвы тяжелые металлы. Эти растения в виде сена или комбикорма используются при кормлении сельхоз животных, в том числе и крупного рогатого скота. Проникая в организм животных, при избытке некоторых токсичных металлов, животное начинает болеть, теряет продуктивность и, в конечном итоге, при острой интоксикации может погибнуть; в результате снижается продуктивность производимой мясной и молочной продукции, страдает экономика в регионе. Так же опасность накопления тяжелых металлов в организме крупного рогатого скота сказывается и на людях, употребляющих в пищу мясо, богатое токсичными металлами. Поэтому следует всегда контролировать уровни токсичных металлов во всей трофической цепи их миграции. Актуальным остается вопрос своевременного выявления тяжелых металлов в отдельных звеньях трофической цепи для предотвращения их дальнейшего продвижения. Работа посвящена оценке загрязнения отдельных агробиоценозов Республики Татарстан тяжелыми металлами по уровню их содержания в волосяном покрове крупного рогатого скота. Определено 6 районов в агробиоценозах, которых выявлен скот с повышенным содержанием мышьяка, молибдена, стронция, хрома и свинца, индикатором чего является их высокое содержание в образцах волос. Своевременно принятые меры на этапе получения продуктов животноводства помогут предотвратить дальнейшее продвижение токсичных элементов по трофической цепи до потребителя.

Ключевые слова: агробиоценозы, крупный рогатый скот, волосы, тяжелые металлы, атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение тяжелыми металлами не только влияет на производство и качество сельскохозяйственных культур, а также угрожает здоровью и жизни животных и людей. Наиболее серьезным является то, что этот вид загрязнения является скрытым, долгосрочным и необратимым (Щипцова, 2017). Из-за промышленной деятельности человека, уровни тяжелых металлов в почве и сточных водах возрастают. Из почвы тяжелые металлы всасываются растениями, а дальше по трофической цепи передаются животным (Bilalov, 2015), в том числе и крупному рогатому скоту (КРС), а потом и человеку. Актуальным остается вопрос своевременного выявления тяжелых металлов в отдельных звеньях трофической цепи для предотвращения их дальнейшего продвижения.

Целью данной работы явилась оценка загрязнения отдельных агроценозов Республики Татарстан (РТ) тяжелыми металлами по уровню их содержания в волосе КРС.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2018–2019 годах в агроценозах РТ, в которых отбирали образцы волос КРС с хвоста или холки. Анализу подлежали образцы ($n=527$) из 11 районов РТ. Среди анализируемых животных наблюдалось доминирование самок: коровы (85 %), быки (15 %). Возраст животных варьировал от 6 месяцев до 10 лет, в среднем 3 года (51 % всех особей).

Для отбора образцов использовали ножницы из нержавеющей стали, а для транспортировки и хранения – бумажные конверты (Завьялов, 2016; Нарожных, 2019). На этапе пробоподготовки часть образцов отбраковали из-за недостаточного количества, нарушения герметичности при транспортировке и контакта с инородными веществами и металлами. Пробоподготовка отобранных для анализа образцов заключалась в их поверхностной очистке (Еськов, 2015) и промывке в системе мыльный раствор-ацетон-дистиллированная вода. Отмытые и обезжиренные образцы хранили в бумажных конвертах из кальки.

Исследование было направлено на определение уровня содержания тяжелых металлов и мышьяка (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn). Образцы волос подвергли полному кислотному разложению (по МУК 4.1.1.1483 – 03). Содержание элементов определяли на атомно-эмиссионном спектрофотометре ICPE-9000 («SHIMADZU Corp.», Япония) с ПО «ISPEsolution» согласно инструкции к применению, а расчет результатов проводился по ПНД Ф 16.1:2:3:3.11-98 (издание 2005г), по описанной ранее методике (Bilalov, 2015) в модификации, применительно к исследованию образцов волос.

Статистическую обработку выполнили, используя «Statistica 10». Проверку нулевых гипотез об отсутствии различий между долями проводили с помощью критерия Шапиро-Уилка (W), по которому было установлено, что полученные данные не полностью подчинялись закону нормального распределения. В связи с этим для сравнительного анализа использовали критерий Манна-Уитни (U) и при $p < 0,05$ различия считали значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы. Проведенными исследованиями всех образцов волос КРС с агробиоценозов исследуемых районов РТ было установлено, что содержание Co варьировало в пределах 0,0-0,70 мг/кг, Cr – 0,0-0,59 мг/кг, Cu – 0,89-8,47 мг/кг, Fe – 0,98-74,1 мг/кг, Mn – 0,01-11,2 мг/кг, Mo – 0,0-4,98 мг/кг, Se – 0,0-0,24 мг/кг, Zn – 8,2-299,4 мг/кг, Ni – 0,0-0,82 мг/кг. Достоверное превышение физиологической нормы Mo выявлено в агробиоценозах 5 районов, а Cr – только в одном районе (табл. 1).

Токсичные элементы. Более серьезную проблему могут создавать токсичные элементы. Проведенными исследованиями было установлено, что во всех исследованных агробиоценозах содержание Al варьировало 0,0-25,5 мг/кг, As – 0,0-8,62 мг/кг, Cd – 0,00-0,027 мг/кг, Pb – 0,0-0,71 мг/кг, Sr – 0,0-14,58 мг/кг. Достоверное превышение физиологической нормы As и Sr выявлено в агробиоценозах 6 и 5 районов соответственно. А содержание Pb в образцах волос КРС превышало референсные значения только в агробиоценозах одного района (табл. 1).

Обобщение полученных результатов и сопоставление их с пределами физиологической нормы позволило выделить 6 районов, в агробиоценозах которых выявлено превышение содержания тяжелых металлов в волосе КРС. В Тюлячинском районе отмечается наиболее сложная ситуация: содержание Mo в волосяном покрове КРС в 19 раз превышало верхнюю границу референсных значений для региона ($2,96 \pm 0,74$ мг/кг), Sr – в 3 раза ($6,29 \pm 1,57$ мг/кг), As – в 3 раза ($1,64 \pm 0,41$ мг/кг) и Pb – в 2,5 раза ($0,40 \pm 0,1$ мг/кг). В Тукаевском районе наблюдалось превышение содержания As – в 9 раз ($4,58 \pm 1,14$ мг/кг), Mo – в 4 раза ($0,6 \pm 0,15$ мг/кг) и Sr в 2,3 раза ($4,7 \pm 1,2$ мг/кг). В Атнинском районе: Sr – в 4 раза ($9,55 \pm 2,4$ мг/кг), As – в 3 раза ($1,54 \pm 0,39$ мг/кг) и Mo – в 2,5 раз ($0,39 \pm 0,1$ мг/кг). В Лаишевском районе: Mo – в 4,5 раза ($0,72 \pm 0,18$ мг/кг) и As – в 1,5 ($0,72 \pm 0,18$ мг/кг). В Азнакаевском районе: As – в 2,8 раза ($1,44 \pm 0,36$ мг/кг) и Mo – в 2,3 раза ($0,35 \pm 0,09$ мг/кг). В Сармановском районе: As – в 2,8 раза ($1,44 \pm 0,36$ мг/кг).

Таблица 1

Значения медианы элементов, достоверно превышающих физиологические нормы, в волосяном покрове крупного рогатого скота

Районы РТ	Значения медианы, мг/кг				
	As	Mo	Sr	Cr	Pb
Лаишевский	0,72*	0,36*	1,30*	0,02	н.п.о.
Атнинский	1,54*	0,39*	9,55*	0,05	н.п.о.
Тюлячинский	1,64*	2,96*	6,29*	0,43*	0,40*
Сабинский	0,62	0,07	0,01	н.п.о.	н.п.о.
Мамадышский	0,91	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Алексеевский	0,86	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Чистопольский	0,45	0,05	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Новошешминский	0,27	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Тукаевский	4,58*	0,60*	4,70*	0,12	н.п.о.
Сармановский	1,12*	0,14	2,42*	0,06	н.п.о.
Азнакаевский	1,44*	0,33*	1,67	0,03	н.п.о.

Примечания к таблице: н.п.о. – ниже предела обнаружения; * – $p < 0,05$.

Полученные результаты позволили провести картографический анализ исследованных районов РТ, в агробиоценозах которых выявлено достоверное превышение физиологической нормы (референсных значений для региона) содержания отдельных элементов в волосе КРС (рис. 1).

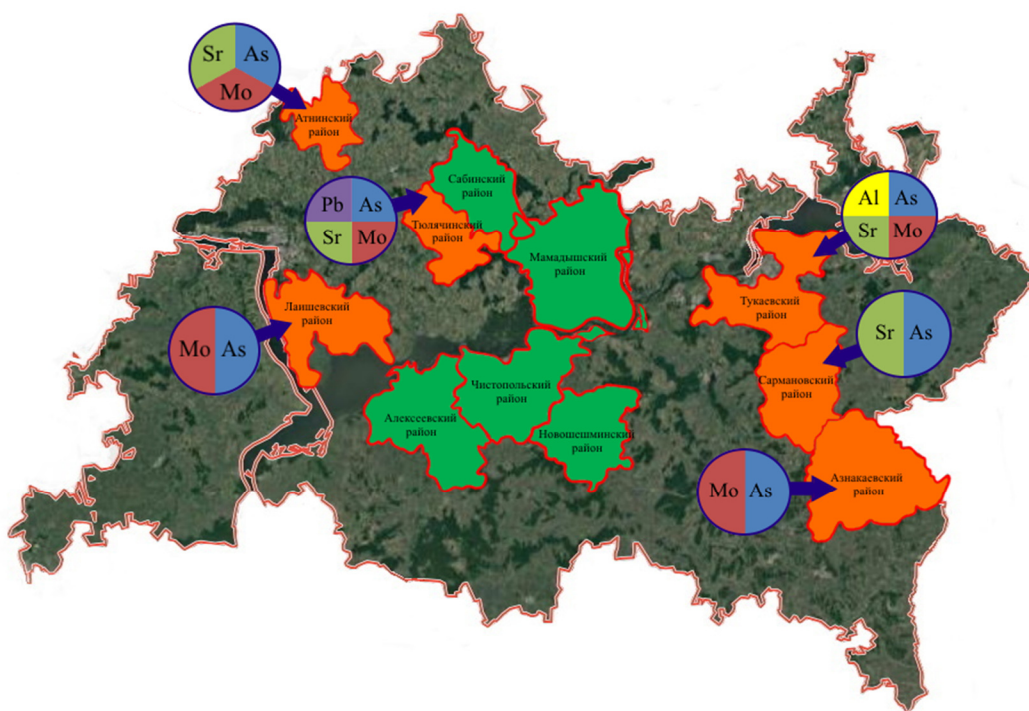


Рис. 1. Картографирование районов Республики Татарстан (Россия)

Условные обозначения: оранжевый цвет – исследованные районы, в агробиоценозах которых выявлено превышение референсных значений; зеленый цвет – исследованные районы, в агробиоценозах которых выявлено превышение референсных значений содержания тяжелых металлов в образцах волос крупного рогатого скота.

Таким образом, было установлено, что в исследованных районах РТ в организме КРС обнаруживаются все искомые элементы, как эссенциальные, так и токсичные. При этом их концентрации в образцах волос, полученных от животных из агробиоценозов разных районов, различаются. Ни в одном из исследованных агробиоценозов не отмечено достоверного превышения физиологической нормы (референсных значений) уровня содержания Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Zn. Однако повышенные концентрации As, Mo, Sr, Cr и Pb в волосяном покрове КРС отдельных районов указывают на необходимость принятия мер по предотвращению дальнейшего продвижения этих токсичных элементов по трофической цепи до потребителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка содержания тяжелых металлов в волосяном покрове КРС может на раннем этапе выявлять влияние окружающей среды и кормовой базы на качество продукции, получаемой в хозяйствах отдельного агробиоценоза. Данными исследованиями определено 6 районов РТ, в агробиоценозах которых выявлено повышенное содержание тяжелых металлов, индикатором чего явилось их высокое содержание в образцах волос, полученных от крупного рогатого скота исследуемых районов. Наиболее значимыми загрязняющими веществами в районах РТ определены As, Mo, Sr, а в одном, районе помимо этих трех элементов, ещё и Cr, Pb. Своевременно принятые меры на этапе получения продуктов животноводства помогут предотвратить дальнейшее продвижение токсичных элементов по трофической цепи до потребителя.

Список литературы

- Еськов Е. К., Крутикова Е. В. Влияние дигидрокверцетина на динамику массы тела и аккумуляцию свинца и кадмия в волосяном покрове норки // Кролиководство и звероводство. – 2015. – № 5. – С. 15–16.
- Завьялов О. А., Фролов А. Н., Харламов А. В. Адаптационные изменения элементного статуса геррефордского скота канадской селекции к условиям Южно-Уральской биогеохимической провинции // Вестник мясного скотоводства. – 2016. – № 2 (94). – С. 7–13.
- Нарожных К. Н. Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях геррефордского скота в условиях Западной Сибири: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Новосибирск. – 2019. – 163 с.
- Щипцова Н. В., Терентьева М. Г. Влияние тяжелых металлов на организм животных // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2 (2). – С. 51–55.
- Bilalov F., Skrebneva L., Nikitin O., Shuralev E. A., Mukminov M. Seasonal variation in heavy-metal accumulation in honey bees as an indicator of environmental pollution // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – Vol. 6, iss. 4. – P. 215–221.

Salikhov D. G., Gaifutdinova N. R., Vybornova I. B., Galimzyanov I. G., Efimova M. A., Shuralev E. A. Estimation of the heavy metal content in the cattle hairline at the livestock product quality control // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 152–155.

Heavy metals are elements that are harmful to animals and humans. In nature, heavy metals occur naturally in almost all living organisms. Some of them are needed by living organisms as trace elements, and some of them only bring harm to all living organisms, up to the death of the organism. The danger of heavy metals lies in their ability to accumulate in the body. Heavy metals have the property of being transmitted along the trophic chain. Plants absorb heavy metals from the soil through their roots. These plants in the form of hay or compound feed are used for fattening agricultural livestock, including cattle. Penetrating into the body of animals, with an excess of some toxic metals, the animal begins to get sick, loses weight and, ultimately, may die in case of acute intoxication. As a result, the productivity of meat and dairy products is reduced, and the economies in the region are suffering. Similarly, the danger of accumulation of heavy metals in the body of cattle affects the people who eat meat rich in toxic metals. Therefore, levels of toxic metals should always be monitored throughout their food chain. The issue of timely detection of heavy metals in individual links of the trophic chain remains relevant in order to prevent their further promotion. The work is devoted to the assessment of contamination of individual agrobiocenoses of the Republic of Tatarstan with heavy metals in terms of their content in the hairline of cattle. Six regions were identified, in the agrobiocenoses of which cattle were found with a high content of arsenic, molybdenum, strontium, chromium and lead, an indicator of which is their high content in hair samples. Timely measures taken at the stage of obtaining livestock products will help prevent the further promotion of toxic elements along the trophic chain to the consumer.

Key words: agrobiocenoses, cattle, hair, heavy metals, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.

*Поступила в редакцию 03.12.22
Принята к печати 15.01.23*

УДК 574.583

Состояние зооценозов рек западной части северного макросклона Горного Крыма

Сасикова Н. С., Хаджиди А. Е., Самарцева А. С., Чижевская Н. А.

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина
Краснодар, Россия

natalya-sasikova@yandex.ru, dtm-khanna@yandex.ru, natalya.chizhevskaya.97@gmail.com

В статье представлены результаты исследований зооценозов пяти рек западной части северного склона Крымского полуострова, таких как Альма, Кача, Бельбек, Черная, Западный Булганак. Изучены особенности географического расположения рек, морфометрия рек, их гидролого-гидрохимический режим, который влияет на формирование среды обитания рыб, а также наличие зообентоса. Материалами для исследования послужили гидробиологические и ихтиологические данные. Отбор и обработка гидробиологических проб, анализ ихтиологического материала проводились по общепринятым методикам. Дана краткая характеристика пяти исследованных рек Крымского полуострова их рыбохозяйственная категоричность. По результатам изучения основных групп гидробионтов (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, рыбы) проведено описание и анализ качественных и количественных характеристик зооценозов пяти рек Республики Крым. Приводятся сведения о среднегодовых биомассах фитопланктона, зоопланктона, зообентоса. Установлено, что уровень фитопланктона с изучаемых реках колеблется от минимального значения 0,52 г/м³ в реке Кача до максимального значения 0,87 г/м³ для реки Западный Булганак. Максимальное содержания зообентоса отмечено в реке Кача – 10,98 г/м³. Представлены сведения по видовому составу ихтиофауны изученных пяти рек Крымского полуострова. Ихтиофауна исследуемых рек представлена в основном туводными видами рыб. В нижнем течении рек и их устьевой части рыбный состав отличается нестабильностью. На этом участке наблюдались морские рыбы, заходящие на нагул – кефали: лобан, сингиль, остронос, пиленгас, а также черноморская атерина.

Ключевые слова: реки, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, ихтиофауна, Крымский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на обследуемой территории Крымского полуострова протекает 1657 постоянных и временных водотоков. Общая длина водотока составляет 5996 км.

Республику Крым можно подразделить на две гидрографические части:

- равнинная (степная) со слабым развитием речной сети
- горная, где речная сеть более густая.

В горах берут начало практически все реки Крыма, за исключением малых водотоков и балок северной части. На плоских вершинах Крымских гор вследствие развития карста поверхностные водотоки отсутствуют. Главный водораздел основных рек смещен на юг и располагается в пределах Яйлы Крымских гор. С Крымских гор реки текут в трех направлениях: на юг – в Черное море, на северо-запад – в Евпаторийский залив Черного моря и на северо-восток – в Азовское море (Олиферов, Тимченко, 2005; Лисовский и др., 2011).

Реки полуострова значительно отличаются своими размерами бассейна и длиной.

В соответствии с морфометриями, все реки разделяются на 4 группы:

- к первой группе относятся западная часть северного склона реки (Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, верховья реки Черной);
- во второй группе реки располагаются на южной части полуострова (Учан-Су, Дерекойка, Авунда, Улу-Узень, Демерджи и др.);
- в третьей группе реки расположены на юго-восточной части и Керченского полуострова (Мелек-Чесме, Чорох-Су, Индол и др.);
- в четвертой группе относятся бассейн Салгира и степная часть полуострова.

В данной работе объектом исследования являлось пять рек Крымского полуострова это – Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная.

Реки, которые вошли в первую группу относятся в категорию горных. Их бассейн имеет вытянутую форму по всей реке, расширенную в верхней части. Площади бассейнов основных рек – 500–600 км², длина – 40–60 км, средняя ширина – 5–10 км.

Географическое строение можно обосновать грунтовыми заложениями, которые направлены на северные и северо-западные залегания. Долины верховьев рек узкие, V-образные и по всей протяженности склоны сливаются с горными. Можно отметить, что дно рек долин разделены балками и небольшими притоками. Ярко выраженные ящикообразные долины имеют реки в своем нижнем течение, а притоки основных рек имеют характер горных ущелий (Болтачев, Карпова, 2017).

В верховьях рек русла слабо извилистые, в среднем и нижнем течении – сильно извилистые, разветвленные. Берега сложены аллювиальными суглинками со значительным включением обломочного материала. В верховьях они сливаются со склонами долины. На коротких притоках, в пределах ущелья, наблюдаются пороги, чередующиеся с глубокими котловидными ямами. Русла рек неустойчивые, после прохождения паводков деформируются, изменяя свое положение в плане (Руководство..., 1983). Берега и дно размываются, легко поддаются разрушению. Особенно сильная деформация наблюдается в нижнем течении Альмы, Качи, Бельбека.

Цель наших исследований – изучение структуры сообществ фитопланктона, зоопланктона и зообентоса, а также ихтиофауны рек западной части северного макросклона Горного Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами во время исследования послужили гидробиологические и ихтиологические данные. Отбор и обработка гидробиологических проб, анализ ихтиологического материала проводились по общепринятым методикам.

Гидролого-гидрохимический режим в малых реках определяет возможность обитания рыб, однако основным фактором является наличие необходимого количества корма.

Кормовые ресурсы рек состоят из:

- органического вещества, которое используют в пищу гетеротрофные бактерии;
- детрита, образующегося за счет отмирания растительности и фитопланктона;
- микроводорослей, являющихся основой питания водных животных (ракообразные, рыбы);
- беспозвоночных, которые преобладают в зоопланктоне и представляют собой, вместе с коловратками, основу пищевой кормовой базы планктонных рыб;
- зообентоса (черви, донные ракообразные, личинки насекомых) – пища для бентофагов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фитопланктон является первым трофическим уровнем в экосистеме и основным продуцентом органического вещества во многих водоёмах и водотоках. Вследствие этого можно отметить, что фитопланктон в реках, исток которых находится в предгорьях или горах, в видовом отношении очень беден. Это все можно обуславливать значительными уменьшениями температурным фоном, низкими показателями количества минеральных веществ в воде, малой водностью и высокой скоростью течения (Карпова, Болтачев, 2012, 2017).

При исследовании рек было представлено 9 таксономических отделами – диатомовые (Bacillariophyta), зеленые (Chlorophyta), эвгленовые (Euglenophyta), пиропитовые (Pyrophyta), криптопитовые (Cryptophyta), хризопитовые (Chrysophyta), гапропитовые (Haptophyta) и динопитовые (Dinophyta) водорослей (табл. 1).

Наибольшее превышение количества флористическое разнообразие было зафиксировано в реках Альма и Западный Булганак (табл. 1). Наиболее высокие показатели средних значений биомассы также отмечены в данных реках (Коблицкая, 1981).

Таблица 1

Количественные показатели фитопланктона рек западной части северного склона Крымского полуострова

Группы водорослей	Соотношение групп водорослей – доля в биомассе, % (количество видов)				
	Альма	Кача	Бельбек	Черная	Западный Булганак
Bacillariophyta	13,13 (18)	96,00 (19)	99,60 (20)	47,00 (14)	15,25 (18)
Pyrophyta	13,51 (10)	–	–	–	14,76 (10)
Chlorophyta	1,50 (9)	1,00 (4)	0,03 (1)	29,30 (6)	2,50 (9)
Суанophyta	68,75 (6)	–	–	11,07(3)	63,96 (6)
Euglenophyta	1,02 (4)	1,00 (1)	0,27 (2)	–	1,12 (4)
Chrysophyta	1,73 (2)	1,00 (1)	–	–	1,85 (2)
Cryptophyta	0,36 (2)	1,00 (1)	0,10 (1)	–	0,56 (2)
Dinophyta	–	–	–	12,50 (6)	–
Нартophyta	–	–	–	0,13(1)	–
Средняя биомасса, г/м ³	0,87	0,52	0,68	0,53	0,76

Типичный зоопланктон в исследованных водотоках был представлен только веслоногими ракообразными (Copepoda), ветвистоусыми ракообразными (Cladocera), коловратками (Rotatoria) и водяными клещами (Hydrocarina). Остальные обнаруженные в толще воды беспозвоночные являлись факультативными (временными) компонентами зоопланктона, пассивно переносимыми течением (Карпова, 2017). Их состав включал круглых червей (Nematoda), (Hydrocarina) и личинок амфибиотических насекомых – ручейников (Trichoptera), поденок (Ephemeroptera) и двукрылых (Diptera) из семейства Chironomidae (табл. 2).

Таблица 2

Количественные показатели зоопланктона рек западной части северного склона Крымского полуострова

Наименование группы	Соотношение групп, % в биомассе (количество видов)				
	Альма	Кача	Бельбек	Черная	Западный Булганак
Rotatoria	1,23 (15)	3,12 (3)	0,27 (12)	0,35 (12)	0,78 (12)
Cladocera	27,34 (6)	–	1,37 (5)	1,28 (5)	29,35 (5)
Copepoda	71,43 (5)	9,38 (4)	1,21 (3)	1,32 (3)	69,87(4)
Hydrocarina	–	–	0,09 (2)	0,09 (2)	–
Varia – прочие, в том. числе					
Nematoda	–	11,35 (5)	0,01 (3)	0,01 (3)	–
Chironomidae	–	75,25 (2)	7,69 (2)	9,25 (2)	–
Ephemeroptera	–	0,90 (2)	16,23 (5)	15,48 (5)	–
Trichoptera	–	–	73,13 (4)	72,22 (4)	–
Средняя биомасса, г/м ³	0,37	0,51	0,27	0,47	0,33

Во время проведения наблюдений было замечено значительное уменьшение численности биомассы зоопланктонов (табл. 2). Во время исследований было показано, что рассматриваемые водотоки могут быть отнесены к олиготрофным.

Таким образом, можно сделать вывод, что зообентосы являются наиболее неустойчивой группой речных гидробионтов, которая иногда испытывает высокие колебания биомассы в течение вегетационного периода.

Видовой состав зообентоса исследуемых водотоков представлены в таблице 3.

Таблица 3

Количественные показатели зообентоса рек западной части северного склона Крымского полуострова

Наименование группы	Соотношение групп – доля в биомассе, %				
	Альма	Кача	Бельбек	Черная	Западный Булганак
Планарии	9,53	2,27	–	–	6,55
Нематоды	–	–	0,99	–	–
Олигохеты	1,19	78,28	15,32	2,35	1,13
Пиявки	0,76	0,16	–	–	0,55
Моллюски	15,86	7,35	–	45,29	15,86
Ракообразные	66,47	8,37	–	37,85	68,59
Поденки	1,43	1,15	–	1,64	1,74
Ручейники	2,27	0,98	–	2,78	3,51
Двукрылые	0,72	0,75	85,67	6,96	0,73
Жуки	1,77	0,69	–	3,13	1,34
Средняя биомасса, г/м ²	8,42	10,98	5,79	9,33	7,89

На территории данных рек, было отмечено что, наименьшее количество зообентоса наблюдается в начале весны. Во время значительного прогрева воды, практически во всех группах было замечено возрастание организмов. Максимальное число биомассы зообентоса можно отметить, в начале июня – июля месяца на мелководных и хорошо прогреваемых участках дна. В дальнейшем происходит снижение концентрации донных организмов, связанное с истреблением бентоса рыбами, а также ухудшением условий жизни для некоторых групп гидробионтов в летне-осенний период (Определитель... 1977; Методические... 1981; Тимченко, 2002; Хаджиди, Сасикова, 2022). Количественные показатели развития зообентоса снижаются до минимума и остаются в течение сезона осени и зимы.

Данные исследований видового состава рыб представлены в таблице 4.

Таблица 4

Состав ихтиофауны рек западной части северного склона Крымского полуострова

№ п/п	Вид	Реки				
		Альма	Кача	Бельбек	Черная	Западный Булганак
1	2	3	4	5	6	7
1.	Серебряный карась (<i>Carassius auratus gibelio</i>)	+	+	+	+	+
2.	Сазан (<i>Ciprinus carpio</i>)	+	+	+	+	+
3.	Амурский чебачок (<i>Pseudorasbora parva</i>)	+	+	+	+	–
4.	Голавль (<i>Squalius cephalus</i>)	+	+	+	+	+
5.	Крымский пескарь (<i>Gobio krymensis</i>)	+	+	+	+	+
6.	Плотва (<i>Rutilus rutilus</i>)	–	–	–	+	+
7.	Южная быстрянка (<i>Alburnoides fasciatus</i>)	–	+	+	+	+
8.	Шемая крымская (<i>Alburnus mentoides</i>)	–	–	+	+	+
9.	Усач крымский (<i>Barbus tauricus</i>)	+	+	+	+	+
10.	Горчак (<i>Rhodeus amarus</i>)	–	–	+	+	–
11.	Обыкновенная уклейка (<i>Alburnus alburnus</i>)	–	–	–	+	–
12.	Лещ (<i>Abramis brama</i>)	–	–	–	+	–

Таблица 4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
13.	Пёстрый толстолобик (<i>Aristichthys nobilis</i>)	–	–	–	+	–
14.	Белый амур (<i>Stenopharyngodon idella</i>)	–	–	–	+	+
15.	Белый толстолобик (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	–	–	–	+	+
16.	Пескарь Делямуре (<i>Gobio delyamurei</i>)	–	–	–	+	–
17.	Рыбец малый (<i>Vimba tenella</i>)	–	–	–	+	–
18.	Щиповка крымская (<i>Cobitis taurica</i>)	–	–	–	+	+
19.	Лобан (<i>Mugil cephalus</i>)	+	+	+	+	–
20.	Пиленгас (<i>Liza haematocheilus</i>)	+	+	+	+	–
21.	Сингиль (<i>Liza aurata</i>)	+	+	+	+	–
22.	Остронос (<i>Liza saliens</i>)	+	+	–	+	–
23.	Окунь обыкновенный (<i>Perca fluviatilis</i>)	+	+	+	+	+
24.	Судак (<i>Sander (Stizostedion) lucioperca</i>)	–	–	–	+	–
25.	Ёрш (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)	–	–	–	+	–
26.	Бычок цуцик (<i>Proterorhinus marmoratus</i>)	+	+	+	+	–
27.	Бычок песочник (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	–	–	+	+	–
28.	Бычок травяник (<i>Zosterisessor ophiocephalus</i>)	–	–	–	+	–
29.	Бычок-кругляк (<i>Neogobius melanostomus</i>)	–	–	–	+	–
30.	Афия, бланкет (<i>Aphyia minuta</i>)	–	–	–	+	–
31.	Черный бычок (<i>Gobius niger</i>)	–	–	–	+	–
32.	Бычок-мартовик (<i>Mesogobius batrachocephalus</i>)	–	–	–	+	–
33.	Бычок-рыжик (<i>Neogobius eurycephalus</i>)	–	–	–	+	–
34.	Бычок малый лысун (<i>Pomatoschistus minutus</i>)	–	–	–	+	–
35.	Длиннохвостый бычок Книповича (<i>Knipowitschia longicaudata</i>)	–	–	–	+	–
36.	Бычок травяник (<i>Gobius ophiocephalus</i>)	–	–	–	+	–
37.	Спикара (<i>Spicara flexuosa</i>)	–	–	–	+	–
38.	Солнечный окунь (<i>Lepomis gibbosus</i>)	+	+	+	+	–
39.	Черноморская барабуля (<i>Mullus barbatus</i>)	–	–	–	+	–
40.	Черноморская ставрида (<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i>)	–	–	–	+	–
41.	Глазчатый губан (<i>Crenilabrus ocellatus</i>)	–	–	–	+	–
42.	Рябчик (<i>Crenilabrus cinereus</i>)	–	–	–	+	–
43.	Рулена (<i>Symphodus tinca</i>)	–	–	–	+	–
44.	Ласкирь (<i>Diplodus annularis</i>)	–	–	–	+	–
45.	Морская собачка-павлин (<i>Salaria pavo</i>)	–	–	–	+	–
46.	Колюшка трехиглая (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	+	+	+	+	–
47.	Щука (<i>Esox lucius</i>)	+	+	+	+	–
48.	Ручьевая форель (<i>Salmo trutta morpha fario</i>)	+	+	+	+	–
49.	Черноморский лосось (<i>Salmo trutta labrax</i>)	–	–	–	+	–
50.	Черноморская атерина (<i>Atherina boyeri pontica</i>)	+	+	+	+	–
51.	Гамбузия хольбрукская (<i>Gambusia holbrooki</i>)	–	–	+	+	–

Таблица 4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
52.	Глосса (<i>Platichthys flesus</i>)	–	–	–	+	–
53.	Черноморско-азовская проходная сельдь (<i>Alosa immaculate</i>)	–	–	–	+	–
54.	Черноморский шпрот (<i>Sprattus sprattus</i>)	–	–	–	+	–
55.	Европейский анчоус, хамса (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	–	–	–	+	–
56.	Сом обыкновенный (<i>Silurus glanis</i>)	–	–	–	+	–
57.	Малая южная колюшка (<i>Pungitius platygaster</i>)	–	–	–	+	–
58.	Морское шило, змеевидная игла (<i>Nerophis ophidion</i>)	–	–	–	+	–
59.	Длиннорылая игла-рыба (<i>Syngnathus typhle</i>)	–	–	–	+	–
60.	Черноморская пухлощечкая игла-рыба (<i>Syngnathus abaster</i>)	–	–	–	+	–
61.	Игла морская толсторылая (<i>Syngnathus variegatus</i>)	–	–	–	+	–
62.	Обыкновенная игла-рыба (<i>Syngnathus acus</i>)	–	–	–	+	–
63.	Морской конек (<i>Hippocampus hippocampus</i>)	–	–	–	+	–
Количество видов		21	18	21	63	15

Ихтиофауна исследуемых рек представлена в основном туводными (аборигенными) видами рыб. В нижнем течении рек и их устьевой части рыбный состав отличается нестабильностью, здесь присутствовало наибольшее число чужеродных видов (Сасикова и др., 2022а, 2022б). На этом участке также наблюдались морские рыбы, заходящие на нагул (кефали лобан, сингиль, остронос, пеленгас, а также черноморская атерина).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований установлено, что максимальное флористическое разнообразие фитопланктона в изученных реках наблюдается в реке Альма и реке Западный Булганак, также, как и наиболее высокие показатели средних значений биомассы, достигающие значения 0,87 г/м³. Исходя из содержания зоопланктона, рассматриваемые водотоки относятся к олиготрофным. Максимальное значение зообентоса представлено в реке Кача и достигает значения 10,98 г/м³.

Ихтиофауна исследуемых рек представлена в основном туводными видами рыб. По видовому составу рыб максимальное разнообразие наблюдается в реке Черная. Это обусловлено ее гидрологическим строением. В среднем течении река протекает по Чернореченскому каньону, в ихтиофауне этого участка следует отметить такие виды как: усач, пескарь, быстрянка южная и ручьевая форель, окунь, ерш, горчак, плотва, амурский чебачок, серебряный карась, голавль. В нижнем течении, вследствие интенсивного водозабора, река становится маловодной. На этом участке реки ихтиоценоз представлен: серебряным карасем, плотвой, амурским чебачком, пескарем, горчаком, бычками, и именно здесь обитаем немногочисленная популяция щиповки крымской. Совершенно особый ихтиоцен сформировался в устьевой части реки, представляющей собой естественный эстуарий, занимающий акваторию устья реки и кутовой части Севастопольской бухты. Для этого эстуария характерны высокие гидролого-гидрохимические параметры среды (солености воды и температуры). Ихтиофауна эстуария реки Черная насчитывает 39 видов и включает

представителей всех основных экологических групп рыб: морских, пресноводных, солоновато-водных и проходных. Благодаря высокой биологической продуктивности эстуарий является благоприятным для размножения и нагула ряда видов рыб.

Список литературы

- Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Морские рыбы Крымского полуострова. 2-е изд. – Симферополь: Бизнес Информ, 2017. – 376 с.
- Карпова Е. П. Трансформация сообществ рыб водоемов Крымского полуострова под воздействием антропогенных факторов: дис. ... на соиск. степ. канд. биол. наук. – Нижний Новгород, 2017. – 196 с.
- Карпова Е. Н., Болтачев Р. А. Рыбы внутренних водоемов Крымского полуострова. – Симферополь, Бизнес-Информ, 2012. – 200 с.
- Коблицкая А. Ф. Определитель молоди рыб. – М.: Легкая промышленность, 1981. – 208 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция / [Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева]. – Л.: ГосНИОРХ, ЗИН, 1981. – 32 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / [Отв. ред. Л.А. Кутикова, Я.И. Старобогатов]. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 511 с.
- Олиферов А. Н., Тимченко З. В. Реки и озёра Крыма. – Симферополь: Доля, 2005. – 214 с.
- Поверхностные водные объекты Крыма / [Под ред. А. А. Лисовского]. – Симферополь: КРП «Издательство «Крымучпедгис», 2011. – 242 с.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / [Под ред. В. А. Абакумова]. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
- Сасикова Н. С., Хаджиди А. Е., Кузнецов Е. В., Кравченко Л. В. Разработка компенсационных мероприятий для возмещения ущерба водным биологическим ресурсам при отборе воды на орошение // *International Agricultural Journal*. – 2022a. – Т. 65, № 2. – С. 789–809.
- Сасикова Н. С., Моторная Л. В., Хаджиди А. Е., Кравченко Л. В. Повышение экологической безопасности гидробионтов на мелиоративных водозаборах / В сборнике: Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. Юбилейный сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2022б. – С. 235–239.
- Тимченко З. В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. – Симферополь: Доля, 2002. – 152 с.
- Хаджиди А. Е., Сасикова Н. С. Защита гидробионтов от попадания в водозабор / В книге: Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год. Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ. – Краснодар, 2022. – С. 240–241.

Sasikova N. S., Hadjidi A. E., Samartseva A. S., Chizhevskaya N. A. Research of qualitative and quantitative characteristics of zoocenoses of rivers in the western part of the northern slope of the Crimean Peninsula // *Ekosistemy*. 2023. Iss. 34. P. 156–162.

The article examines the qualitative and quantitative characteristics of zoocenoses of five rivers in the western part of the northern slope of the Crimean Peninsula, such as Alma, Kacha, Belbek, Chernaya, Western Bulganak. The features of the geographical location of rivers, the morphometry of rivers, their hydrological and hydrochemical regime, which affects the formation of fish habitat, as well as the presence of zoobenthos, have been studied. Hydrobiological and ichthyological data served as materials during the study. Selection and processing of hydrobiological samples, analysis of ichthyological material were carried out according to generally accepted methods. A brief description of the five studied rivers of the Crimean Peninsula and their fishery categorization is given. Based on the results of the study of the main groups of hydrobionts (phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, fish), the description and analysis of qualitative and quantitative characteristics of zoocenoses of five rivers of the Republic of Crimea were carried out. The data on the average annual biomass of phytoplankton, zooplankton, zoobenthos are given. It was found that the level of phytoplankton in the studied rivers ranges from a minimum value of 0.52 g/m³ in the Kacha River to a maximum value of 0.87 g/m³ for the Western Bulganak River. The maximum content of zoobenthos was obtained in the Kacha River, reaching a value of 10.98 g/m³. Information on the species composition of the ichthyofauna of some rivers of the Crimean Peninsula is presented. The ichthyofauna of the studied rivers is represented mainly by aquatic fish species. In the lower reaches of rivers and their estuaries, the fish composition is unstable. Marine fish entering the feeding area were also observed at this site (mullet loban, singil, sharpnose, pilengas, as well as Black Sea aterina).

Key words: rivers, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, ichthyofauna.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 30.12.22

УДК 581.192.2

Изменение содержания суммы флавоноидов в листьях и плодах черники *Vaccinium myrtillus* в градиенте техногенного загрязнения в центральной части Кольского полуострова

Серёда Л. Н.¹, Цветов Н. С.², Дрогобужская С. В.², Жиров В. К.³

¹Лаборатория медицинских и биологических технологий Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр РАН
Апатиты, Россия
sundukprandory87@mail.ru

²Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева
Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр РАН
Апатиты, Россия
tsvet.nik@mail.ru; s.drogobuzhskaia@ksc.ru

³Центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике РАН
Апатиты, Россия
v_zhirov_1952@mail.ru

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) – один из доминантов травяно-кустарничкового яруса лесов Кольского полуострова, имеющий широкую экологическую амплитуду и важное промышленное значение. Данный вид является бореальным многолетним листопадным кустарничком. Листья и плоды этого растения отличаются высоким содержанием флавоноидов, что обуславливает их выраженные антиоксидантные, антисептические, противовоспалительные, гипогликемические и другие терапевтические свойства. По результатам ультразвуковой экстракции 60 % этанолом этих соединений из листьев черники, произрастающей в зоне загрязнения выбросами ОАО «Комбинат Североникель», не обнаружено устойчивой связи их общего содержания с концентрацией тяжёлых металлов в почве при общем нелинейном характере данной зависимости. Общее содержание флавоноидов в фотосинтезирующих органах *V. myrtillus* в условиях аэротехногенного загрязнения, носит нелинейный характер, достигая максимальных значений в наиболее увлажнённых местах. Полученные сведения могут быть использованы для более детального изучения механизмов синтеза адаптогенных фенольных соединений у растений в условиях промышленного загрязнения арктических территорий.

Ключевые слова: флавоноиды, ультразвуковая экстракция, черника, техногенное воздействие, Арктика.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из доминантов травяно-кустарничкового яруса лесов Кольского полуострова, является многолетний листопадный ягодный кустарничек – черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), относящаяся к роду *Vaccinium* семейства Ericaceae. Согласно Раменской (1983), черника, как аборигенный лесной вид, характеризуется очень широкой экологической амплитудой, встречается в естественных сообществах от тундровой зоны до подзоны средней тайги и относится к группе бореальных видов, а именно, к бореальному циркумполярному элементу (или почти циркумполярному или циркумполярному с разрывами).

Черника является промысловым на территории Мурманской области видом, урожайность которого, согласно Летописям природы заповедника «Лапландский государственный природный биосферный заповедник», среди видов семейства Ericaceae – брусники, черники, вороники и арктоуса – уступает лишь воронике, с максимальной урожайностью в 2010 году – 1189,9 кг/га (Летописи природы..., 2018).

Данные многочисленных многолетних исследований указывают на присутствие широкого спектра фенольных соединений в плодах растений черники, таких как, фенолы и их производные, полифенолы, катехины, процианидины, фенольные кислоты и их производные, флавоноиды, антоцианов. Следует отметить, что содержание фенолов, кверцетина,

проантоцианидов, антоцианов, значительно выше в листьях, в сравнении с плодами, что, вероятно, связано с защитой функцией вегетирующей части растений от стресса, вызванного ультрафиолетовым излучением, запускающим метаболизм флавоноидов. Кроме того, в листьях, проходящих стадию изменения окраски, содержание кверцетина, кемпферола, п-кумариновой, кофейной и феруловой кислот выше, чем в плодах, имеющих зелёную окраску. Содержание вышеперечисленных фенольных соединений обуславливает ярко выраженные антисептические, антибактериальные, противовоспалительные, гипогликемические и ряд других свойства, терапевтическое действие которых, отмечено, как в народной, так и в официальной медицине (Nestby, 2019; Ștefănescu et al., 2019; Белова, 2020).

По имеющимся в литературе данным, синтезу вторичных метаболитов у растений способствуют экстремальные условия территории исследования, обусловленные комплексом метеорологических и гелиогеофизических факторов Арктики (Артёмкина, 2019). Анализ изменчивости содержания флавоноидов в растениях черники в градиенте воздействия на окружающую среду одного из крупнейших горно-металлургических предприятий Кольского полуострова – ОАО «Комбинат Североникель» – выбросы которого содержат тяжёлые металлы (Cu, Fe, Zn, Mn, Co, Ni), сернистые соединения, окислы азота, фтор и другие (Крючков, Макарова, 1989; Артёмкина, 2019), позволит оценить эффекты их кооперативного действия на фармакологически ценные растения в условиях Крайнего Севера.

Цель работы – оценить изменение содержания суммы флавоноидов в листьях и плодах черники *Vaccinium myrtillus* в градиенте техногенного загрязнения в центральной части Кольского полуострова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались рутин (≥ 94 %, Sigma-Aldrich), хлорид алюминия, уксусная кислота (все реактивы квалификации ХЧ, Вектон), этанол (96 %, РФК) и дистиллированная вода.

Объектами исследования служили листья растений черники обыкновенной – *V. myrtillus*.

Сбор растительного материала производился в I декаду июля 2021 года в фазу полного цветения (ВВСН 69).

Регистрация фенологических фаз производилась по методике И. Н. Бейдемман (1954), с последующим переводом на шкалу ВВСН (Meier et al., 2009; Meier, 2018).

Растительный материал собирали на 3 стационарных площадках площадью 400 м² каждая, расположенных в Мончегорском районе (Мурманская обл.), вдоль автотрассы Санкт-Петербург – Мурманск, в зоне локального воздействия ОАО «Комбинат Североникель» (ОАО «Кольская ГМК») на различном удалении от источника промышленного загрязнения (1246, 1251, 1256 км к югу от Мончегорска, соответственно).

Подготовка растительного материала включала в себя сушку на открытом воздухе и хранение в соответствии с ОФС.1.1.0011.15 (Хранение лекарственного..., 2015).

Экстрагирование проводилось методом ультразвуковой экстракции в предварительно термостатированной до 45 °С ультразвуковой ванне Велитек VBS - 3DP (Россия) в течении 60 минут. Навеска (0,05 г) измельченного и отсеиванного до фракции 0,5 мм растительного материала смешивалась с 0,5 мл 60 % этанола в соотношении 1:10 (w/v) в 1,5 мл микроцентрифужных пробирках типа Эппендорф с крышками, имеющими винтовой механизм, и интенсивно встряхивалась, для достижения полного смачивания растительного материала экстрагентом.

Общее содержание флавоноидов (ТФС) определялось с помощью реакции комплексообразования с хлоридом алюминия (Беликов, Шрайбер, 1970; Tsvetov et al., 2022). К 1 мл 2 % раствора хлорида алюминия добавлялся 1 мл разбавленного в 100 раз экстракта. Полученную смесь термостатировали при 25 °С в течении 60 минут. Оптическая плотность измеряли при длине волны 420 нм с помощью фотоколориметра КФК-3-01 (ЗОМЗ Россия, 2010 г.). Калибровка проводилась с использованием рутина в качестве стандарта в диапазоне

концентраций 100–1000 мкг/мл. Общее содержание флавоноидов в экстракте выражали в мг эквивалента рутина (RE) в пересчете на 1 г растительного материала:

$$TFC = \frac{D \times 0.1 \times A_{420} \times V_{ext}}{m_{plant}}, \text{ мг RE/г,}$$

где: D – гидромодуль; A_{420} – оптическая плотность при длине волны 420 нм, k – калибровочный коэффициент; V_{ext} – объем экстрагента, m_{plant} – масса растительного материала.

Для анализа содержания тяжелых металлов в грунте, почвенным буром были отобраны объединённые, составленные путем смешивания не менее чем из пяти точечных проб, отобранных на каждой стационарной площадке, пробы прикорневого слоя (10-20 г) в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 (Межгосударственный стандарт, 2017).

Анализ общего содержания тяжёлых металлов в грунте (Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) производили методом автоклавного микроволнового вскрытия с помощью масс-спектрометра Perkin Elmer ELAN 9000 DRCe с индуктивно связанной плазмой.

Данные обрабатывали с помощью программного обеспечения MS Professional Plus Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемая зона воздействия ОАО «Комбинат Североникель» включает 3 площадки, находящиеся в 12, 7 и 2-километровом удалении от источника загрязнения. Результаты анализа общего содержания флавоноидов в листьях черники представлены на рисунке 1. Как видно, данный показатель нелинейно изменяется с расстоянием до промышленного объекта, достигая максимальных значений в 7 км до него. По данным других авторов, содержание флавоноидов в растениях в зоне промышленного воздействия влияет количество осадков (Платонова, 2018). За счёт протекающей по территории 2 площадки небольшой реки и наличия родника, произрастающим в её пределах растениям, обеспечивается достаточное увлажнение в течении всего вегетационного периода, что может обуславливать наибольшее, в сравнении с менее увлажнёнными 1 и 3 площадками, зафиксированное общее содержание флавоноидов в листьях черники.

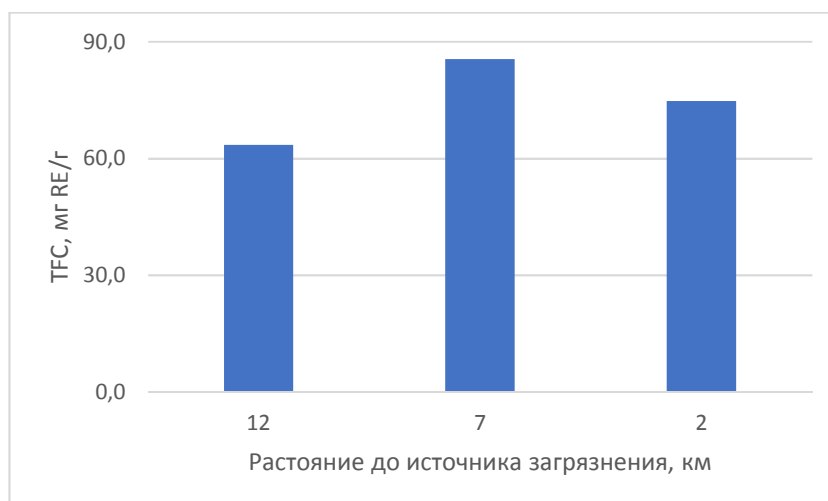


Рис. 1. Содержание флавоноидов в листьях черники в градиенте техногенного загрязнения

Проведённый корреляционный анализ (табл. 1) между содержанием флавоноидов и тяжёлыми металлами, показал, в целом, нулевую корреляцию с концентрацией всех исследуемых элементов в почве, что даёт возможность предположить, что тяжёлые металлы не влияют на общее содержание флавоноидов в листьях растений черники, и косвенно подтвердить предположение о роли влияния увлажнения на содержание фенольных соединений.

Таблица 1

Коэффициент корреляции между содержанием флавоноидов и химических элементов в грунте

	Элементы						
	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Флавоноиды	-0,3	-1	0	0,1	0,1	-0,8	-0,3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общее содержание флавоноидов в фотосинтезирующих органах *V. myrtillus* в условиях аэротехногенного загрязнения, носит нелинейный характер, достигая максимальных значений в наиболее увлажнённых местах.

В целом установлена нулевая корреляция между общим содержанием флавоноидов в листьях исследуемых растений и содержанием тяжёлых металлов в почве.

Полученные данные могут быть использованы для более детального изучения особенностей синтеза фенольных соединений в листьях растений черники обыкновенной синтеза адаптогенных фенольных соединений у растений в условиях промышленного загрязнения арктических территорий.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН по теме: «Научные основы инновационных подходов к здоровьесбережению и биологической и экологической безопасности населения западного сектора российской Арктики», № FMEZ-2022-0020

Список литературы

- Артемкина Н. А. Фенольные соединения *Vaccinium vitis-idaea* и их ответ на воздействие различных факторов окружающей среды // Химия растительного сырья. – 2019. – № 2. – С. 59–66.
- Бейдеман И. Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. – М.–Л.: Изд. АН СССР, 1954. – 130 с.
- Беликов В. В., Шрайбер М. С. Методы анализа флавоноидных соединений // Фармация. – 1970. – Т. 19. – С. 66–72.
- Белова Е. А. и др. Изучение фенольных соединений ягод трех видов растений рода *Vaccinium*, произрастающих в Ханты-Мансийском автономном округе // Химия растительного сырья. – 2020. – № 1. – С. 107–116.
- ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа, 2017
- Крючков В. В., Макарова Т. Д. Аэротехногенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. – Апатиты: Изд-во Кольского Научного Центра АН СССР, 1989. – 96 с.
- Летопись природы заповедника «Лапландский государственный природный биосферный заповедник». Отчет. «Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе «Летопись природы». – 2019. – Т. 54. – 284 с.
- ОФС.1.1.0011.15 Хранение лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов, 2015.
- Платонова Н. Б. Белоус О. Г. Содержание флавоноидов в зависимости от условий выращивания и сорта чайного растения // Фенольные соединения: функциональная роль в растениях: Сборник научных статей по материалам X Международного симпозиума, Москва, 14–19 мая 2018 года / [Ответственный редактор Н. В. Загоскина]. – Москва: PRESS-BOOK.RU, 2018. – С. 319–326.
- Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. – Л.: Наука, 1983. – 216 с.

Meier U. et al. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications // Journal für Kulturpflanzen. – 2009. – Vol. 61. – P. 41–52.

Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH. – Quedlinburg, 2018. – 204 p.

Nestby R. et al. Review of botanical characterization, growth preferences, climatic adaptation and human health effects of Ericaceae and Empetraceae wild dwarf shrub berries in boreal, alpine and arctic areas // Journal of Berry Research. – 2019. – Vol. 9. – P. 515–547.

Ștefănescu B. E. et al. Phenolic Compounds from Five Ericaceae Species Leaves and Their Related Bioavailability and Health Benefits // Molecules. – 2019. – Vol. 24. – P. 2046

Tsvetov N., Sereda L., Korovkina A. et al. Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from *Empetrum hermaphroditum* Hager. using acid-based deep eutectic solvent: kinetics and optimization // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2022. – Vol. 12. – P. 145–156.

Sereda L. N., Tsvetov N. S., Drogobuzhskaya S. V., Zhirov V. K. Changes in the content of the total flavonoids in the leaves and fruits of *Vaccinium myrtillus* blueberries in the gradient of technogenic pollution in the central part of the Kola Peninsula // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 163–167.

Common bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) is one of the dominant species in the herbaceous-shrub layer of the forests of Kola Peninsula, which has a wide ecological amplitude and important commercial value. This species is a boreal perennial deciduous shrub. The leaves and fruits of this plant are distinguished by a high content of flavonoids, which causes their pronounced antioxidant, antiseptic, anti-inflammatory, hypoglycemic and other therapeutic properties. According to the results of ultrasonic extraction with 60 % ethanol of these compounds from the leaves of blueberries growing under pollution with emissions from the “Severonickel” Company, a stable relationship was found between their total content and the concentration of heavy metals in the soil, with a general non-linear nature of this dependence. The total content of flavonoids in the photosynthetic organs of *V. myrtillus* under conditions of aerotechnogenic pollution is non-linear, reaching maximum values in the most humid places. The obtained information can be used for a more detailed study for mechanisms of phenolic compounds synthesis in plants under conditions of the industrial pollution in Arctic.

Key words: flavonoids, ultrasonic extraction, blueberries, anthropogenic impact, Arctic.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 595.384(262.5)

Некоторые популяционные характеристики охраняемого вида – *Potamon ibericum* (Bieberstein, 1809) реки Бельбек

Статкевич С. В.¹, Узлова В. В.²

¹ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
statkevich.svetlana@mail.ru

² Воронежский государственный университет
Воронеж, Россия
toshalletter@gmail.com

Пресноводные крабы являются важным звеном экосистем горных рек. Динамика состояния их популяций может эффективно отражать изменения, происходящие в окружающей среде. По материалам экспедиционных работ 2021–2022 годов представлены данные о распределении пресноводного краба в бассейне реки Бельбек. В пределах рассматриваемого водотока взрослые особи в основном держались обособленно друг от друга, молодь сосредотачивалась вдоль берега группами. Количество крабов составляло 1–6 экземпляров на погонный метр. Однако были участки, где крабы не обнаружены. В наших сборах отмечены особи с длиной карапакса 6,7–37,4 мм и шириной 8,3–45,2 мм, массой 0,5–40,6 г. При изучении размерно-массовых характеристик было установлено, что для пресноводных крабов, характерен аллометрический рост. Плодовитость у самок этого вида составляет от 87 до 141 шт. Основными факторами, лимитирующими состояние региональной популяции являются, изменения гидрологических условий на реке и её загрязнение бытовыми стоками. Возрастание рекреационной нагрузки и непосредственный вылов крабов в местах туристических стоянок также приводит к снижению численности данного вида. В настоящий момент пресноводный краб находится под охраной и внесен в Красную книгу Российской Федерации и Красные книги субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: пресноводный краб, *Potamon ibericum*, популяционные характеристики, Бельбек.

ВВЕДЕНИЕ

Potamon ibericum (Bieberstein, 1809) (syn.: *Cancer ibericus*; *Potamon albanicum*; *P. tauricum*; *P. ibericum tauricum*; *Thelphusa intermedia*) – пресноводный краб из рода *Potamon* Savigny, 1816 (WoRMS, 2022). Первые сведения о данном виде появились в 1808 году и за всю историю исследований научная классификация пресноводного краба претерпела ряд изменений, как на родовом, так и видовом уровнях (Marschall de Bieberstein, 1809; Brandis et al., 2000). Ранее он был включен в состав таких родов, как *Cancer* Linnaeus, 1758 и *Thelphusa* Latreille, 1819, что же касается видового названия, то в литературе впервые данный вид появился под названием *Cancer ibericus* Marschall de Bieberstein, 1809 (Marschall de Bieberstein, 1809; WoRMS, 2022). Распространен этот краб в европейской части Турции, на севере Греции, в Болгарии и Румынии. Отмечен в горных реках Балкан и Кавказа. В Крыму пресноводный краб встречается в большей части непересыхающих рек Южнобережья, а также в верхней части бассейна реки Бельбек (Красная книга..., 2016).

Пресноводные крабы являются важным звеном экосистем горных рек. Играя существенную роль в биологических процессах водотоков, они часто используются для биологического мониторинга, поскольку являются отличными индикаторами водных экосистем (Шаповалов и др., 2010; Akbulut et al, 2014). Динамика состояния их популяций может эффективно отражать изменения, происходящие в окружающей среде, как негативные, так и позитивные.

Цель работы – изучить биологию и состояние популяции пресноводного краба *Potamon ibericum* в бассейне реки Бельбек в Крыму.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в летний период 2021–2022 годов. Объект изучения – пресноводный краб (рис. 1). Материал был собран: в верховье среднего течения реки Бельбек и в самом полноводном притоке Бельбека – реке Коккозка, который образуется от слияния двух речек: Аузун-Узень и Сары-Су.



Рис. 1. Пресноводный краб *Potamon ibericum* (фото С. В. Статкевич)

Учет крабов осуществляли путем визуальных наблюдений, а также путем ручного сбора. Размерные характеристики крабов определяли при помощи штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Индивидуальную массу измеряли с помощью электронных весов (с точностью до 0,01 г). После проведения промеров, взвешивания и визуального определения пола все особи в живом виде выпускались в среду обитания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение. Естественными местообитаниями пресноводного краба являются горные реки и ручьи с быстрым течением, прозрачной, жесткой водой с высоким содержанием кислорода. Для них обязательно наличие камней, которые краб использует в качестве укрытий. Большую часть времени крабы проводят в воде, на глубине до 0,5 м, или во влажных норах. Норы располагаются как в непосредственной близости от воды, так и в русле реки под камнями, могут иметь выход на сушу, но их глубокая часть всегда заполнена водой (Красная книга..., 2016). В естественных условиях взрослые особи краба в основном держатся обособленно друг от друга, тогда как молодь, напротив, чаще держится группами, сосредотачиваясь вдоль берега в воде под камнями или в зарослях нитчатых водорослей. Из-за крайне неравномерного распределения на дне достоверно установить численность этого вида достаточно затруднительно. Даже в пределах одного водотока существовали как участки с концентрацией крабов 1–6 экземпляров на погонный метр, так и те, где он отсутствовал вовсе. Поэтому более репрезентативная информация была получена путем подсчета норок, в которых обычно скрываются животные. В ходе экспедиционных работ, было установлено, что численность таких нор может составлять от 2-х до 5-ти на погонный метр русла реки.

Размерный состав и размерно-массовые характеристики. В наших сборах отмечены разноразмерные особи пресноводного краба (табл. 1). Полученные нами данные несколько ниже максимально известных размеров для этого вида в целом (Кривохижин, Кривохижина, 1988; Красная книга..., 2016).

Таблица 1

Среднее значение и стандартная ошибка среднего параметров длины карапакса, ширины карапакса и массы краба *Potamon ibericum* в реке Бельбек

	Параметры		
	CL±SE, мм	CW±SE, мм	W±SE, г
Самцы	23,1±0,6 (6,7–37,2)	28,1±0,8 (8,3–45,2)	11,1±0,8 (0,5–40,6)
Самки	25,2±0,7 (10,7–33,7)	30,9±0,9 (12,6–41,7)	13,0±0,9 (0,9–28,1)
Общее	23,8±0,5 (6,7–37,4)	29,0±0,6 (8,3–45,2)	11,8±0,6 (0,5–40,6)

Примечание: CL – длина карапакса; CW – ширина карапакса; W – масса; Mean – среднее значение; SE – стандартная ошибка среднего.

Соотношение самок и самцов представлено на рисунке 2. Среди самцов преобладали особи с длиной карапакса от 10 до 30 мм, у самок – от 20 до 30 мм. Достоверность различий в размерно-частотных распределениях самцов и самок статистически значима ($p < 0,05$).

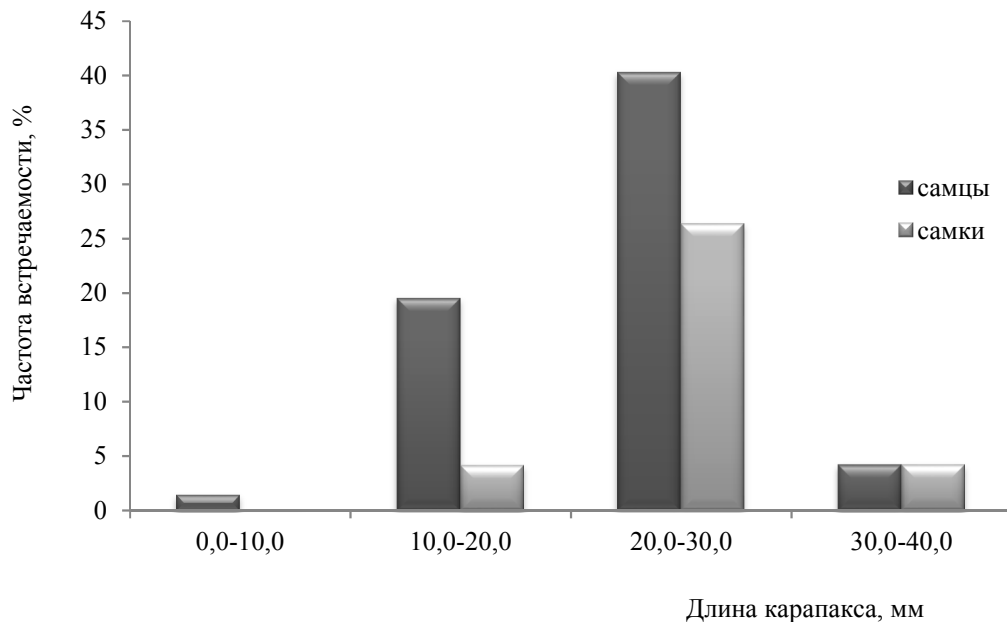


Рис. 2. Размерный состав краба *Potamon ibericum* в реке Бельбек

Связь между линейными размерами (CL и CW, мм) и массой (W, г) описывается степенным уравнением $W=a \times CL^b$ (табл. 2), а зависимость длины карапакса (CL, мм) от его ширины линейным уравнением $CW=b \times CL + a$ (табл. 2).

На основании полученных данных, по показателю степени (b), можно сделать вывод о том, что для пресноводных крабов, характерен аллометрический рост (более быстрый набор массы).

Таблица 2

Параметры уравнений соотношения между массой, длиной и шириной карапакса, а также между длиной и шириной карапакса для пресноводного краба *Potamon ibericum* из реки Бельбек

Параметры	Самцы	Самки	Общее
a	0,0008	0,0008	0,0008
b	2,973	2,974	2,973
R ²	0,97	0,984	0,974
a	0,0007	0,0009	0,0008
b	2,829	2,777	2,811
R ²	0,971	0,982	0,974
a	1,096	1,520	1,261
b	1,262	1,289	1,273
R ²	0,983	0,975	0,982

Примечание: R² – коэффициент детерминации.

Плодовитость. Согласно имеющейся информации половое созревание у самцов пресноводного краба наступает на 5 году жизни, у самок – на четвертом году (Шаповалов и др., 2010). В литературе указывается, что плодовитость у самок составляет от 150 до 600 икринок (Шаповалов и др., 2010). В наших исследованиях плодовитость варьировало от 87 до 141 шт. для самок с длиной карапакса 25,9–33,7 мм, что согласовывается с данными других исследователей (Кривохижин, Кривохижина, 1988).

Лимитирующие факторы, угрозы и природоохранный статус. Основными факторами, лимитирующими состояние региональной популяции, являются изменения гидрологических условий на реке (чрезмерный водозабор, гидростроительство, расчистка русла; изменения морфологии дна и характера биотопа; сезонное пересыхание водотоков). Строительство гидросооружений и выемка грунта, как для местного строительства, так и в целях расчистки русла наиболее губительны для донной фауны, и, в частности, пресноводных крабов. После проведения мероприятий в ноябре 2021 года по расчистке русла реки Бельбек местообитания пресноводных крабов были частично уничтожены и норки животных засыпаны большим количеством валунов и щебня. Учитывая то, что в период проведения работ крабы уже перешли к зимовке в норках и укрытиях, вероятнее всего, многие животные были уничтожены, о чем свидетельствуют многочисленные находки погибших особей. К снижению численности данного вида также приводит возрастание рекреационной нагрузки (обустройство прилегающих территорий; джиппинг и мотокросс; прочие) и непосредственный вылов крабов в местах туристических стоянок. В случае экстремального снижения численности пресноводного краба и с учетом биологии данного вида, восстановление его популяции – крайне медленный и сложный процесс.

На данном этапе пресноводный краб *P. ibericum* включен в Красную книгу Республики Крым (2016) как подвид, сокращающийся в численности; в Красную книгу города Севастополя (2018) как вид, находящийся под угрозой исчезновения. Внесен в Красную книгу Республики Адыгея (2012); в Красную книгу Краснодарского края (2017) как уязвимый вид; в красный список Международного союза охраны природы (МСОП) – как вид, находящийся под угрозой исчезновения. С 2021 года, пресноводный краб внесен в Красную книгу Российской Федерации (2021) – кавказский пресноводный краб (*Potamon ibericum*) – как вид, сокращающийся в численности и/или распространении, уязвимый, для которого необходима реализация одного или нескольких специальных мероприятий по сохранению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время численность локальной популяции пресноводного краба в верхней части бассейна реки Бельбек невелика и составляет от 1 до 6 экземпляров на погонный метр. Распространение крабов в пределах этого водотока весьма неравномерно.

В период исследования (2021–2022 гг.) отмечены разноразмерные особи пресноводного краба с длиной карапакса от 6,7 до 37,4 мм и шириной от 8,3 до 45,2 мм, массой от 0,5 до 40,6 г. Наши данные несколько ниже максимально известных размеров для этого вида в целом. При анализе размерно-массовых характеристик было установлено, что для пресноводных крабов, характерен аллометрический рост. Полученные сведения могут стать отправной точкой в мониторинге состояния его популяции.

Изменения гидрологических условий на реке и её загрязнение бытовыми стоками приводит к снижению численности данного вида и сокращению области его обитания, что создает предпосылки для разработки мероприятий по сохранению и восстановлению популяции пресноводного краба на реке Бельбек.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов мирового океана» (№ гос. регистрации 121030100028-0).

Список литературы

- Красная книга Республики Адыгея. Животные. Издание второе / [Отв. ред. А. С. Замотайлов]. – Майкоп: Качество, 2012. – 376 с.
- Красная книга Краснодарского края. Животные. Издание третье / [Отв. ред. А. С. Замотайлов, Ю. В. Лохман, Б. И. Вольфов]. – Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. – 720 с.
- Красная книга Республики Крым. Животные. Издание второе, исправленное / [Отв. ред. д.б.н., проф. С. П. Иванов и к.б.н. А. В. Фатерыга]. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2016. – 440 с.
- Красная книга Российской Федерации. Животные. 2-ое издание. – М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. – 1127 с.
- Красная книга города Севастополя. – Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. – Калининград; Севастополь: ИД «РОСТ-ДООАФК», 2018. – 432 с.
- Кривохижин С. В., Кривохижина Т. В. К изучению биологии пресноводного краба *Potamon tauricum* Czerniavsky 1884 в Крыму // Изучение экосистем Крыма в природоохранном аспекте. – Киев: УМК, 1988. – С. 64–69.
- Шаповалов М. И., Моторин А. А., Тхабисимова А. У. Пресноводный краб – *Potamon tauricum* (Czerniavsky, 1884) на Северо-Западном Кавказе // Вестн. Адыгейского гос. ун-та. Серия Естественно-математические и технические науки. – 2010. – №1. – С. 108–113.
- Akbulut M., Selvi K., Kaya H., Duysak M., Akcaay F., Celik E.S. Use of oxidative stress biomarkers in three Crustacean species for the assessment of water pollution in Kocabaş Stream (Çanakkale, Turkey) // Marine Science and Technology Bulletin. – 2014. – 3 (2). – P. 27–32.
- Brandis D., Storch V., Türkay M. Taxonomy and zoogeography of the freshwater crabs of Europe, North Africa and the Middle East (Crustacea, Decapoda, Potamidae) // Senckenbergiana Biologica. – 2000. – 80 (1). – P. 5–56.
- Marschall de Bieberstein F. A. Notice sur quelques insectes du Caucase // Mémoires de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou. – 1809. – 2. – P. 3–5.
- WoRMS: World Register of Marine Species. URL: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=442955>. Accessed 20.09.2022.

Statkevich S. V., Uzlova V. V. Some population characteristics of protected species – *Potamon ibericum* (Bieberstein, 1809) of the Belbek River // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 177–182.

Freshwater crabs are an important part of mountain river ecosystems. The dynamics of the state of their populations can effectively reflect changes in the environment. Based on the materials of expeditionary work in 2021–2022, presents data on the distribution of freshwater crab in the Belbek river basin. Within the watercourse under consideration, adults mostly kept apart from each other; juveniles concentrated along the shore in groups. The number of crabs was 1–6 specimens per running meter. However, there were areas where crabs were not found. In our collections, individuals with a carapace length of 6.7–37.4 mm and a width of 8.3–45.2 mm, weighing 0.5–40.6 g were noted, characterized by allometric growth. Fertility in females of this species ranges from 87 to 141 pcs. The main factors limiting the state of the regional population are changes in the hydrological conditions on the river and its pollution with domestic wastewater. An increase in recreational load and direct catching of crabs in tourist camps also leads to a decrease in the number of this species. At the moment, freshwater crab is under protection and is listed in the Red Book of the Russian Federation and the Red Books of the constituent entities of the Russian Federation.

Key words: freshwater crab, *Potamon ibericum*, population characteristics, Belbek.

Поступила в редакцию 25.11.22.

Принята к печати 15.02.23

УДК 504.06(470.342)(082)

Накопление и распределение меди (Cu^+) в организме пчел и продуктах пчеловодства в различных районах Республики Татарстан

Сычев К. В.¹, Низамов Р. Н.², Гайнуллин Р. Р.², Колочкова Е. В.³

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет
Казань, Республика Татарстан, Россия
kvs14@yandex.ru

² Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности
Казань, Республика Татарстан, Россия
gairuslan10@mail.ru

³ Казанский государственный медицинский университет
Казань, Республика Татарстан, Россия
g27a@mail.ru

Настоящие исследования посвящены анализу характера распределения и степени кумуляции поллюанта (меди (Cu^+) в почвенно-растительном биогеоценозе (почва, пыльца), продуктах пчеловодства (перга, мед) и организме пчел, отобранных на территории Альметьевского, Бугульминского, Азнакаевского, Лениногорского, Новошешминского, Черемшанского, Чистопольского и Заинского муниципальных районов Республики Татарстан. В связи с неравномерностью распределения нефтяных месторождений и сопутствующих промышленных центров (преимущественно юго-восточная часть Республики), вышеперечисленные районы имеют различный уровень антропогенно-техногенного воздействия. Результаты проведенного мониторинга с использованием живых биоиндикаторов – пчел и пчелопродуктов (апимониторинга) в районах интенсивного техногенеза (добыча нефти, переработка нефтепродуктов, производство нефтехимических продуктов и попутного сырья) Республики Татарстан показали существенные различия в уровнях контаминации, характера распределения поллюанта (меди Cu^+) в вырабатываемых пчелами продуктах (перга, мед) и организме пчел. Установлено, что распределение поллюанта (меди Cu^+) между исследуемыми районами имеет весьма неравномерный характер. Также, используя данные о концентрации поллюанта (меди Cu^+) в исследуемых образцах (почва, пыльца, перга, мед, организмы пчел), рассчитывали коэффициент накопления (Кн) в звеньях донора и звеньях акцептора. По содержанию поллюанта (меди Cu^+) в звеньях биологической цепи «почва – пыльца», «пыльца – пчела», «пчела – мед» и «пчела – перга» районы Республики сгруппировали, согласно коэффициенту накопления в следующие группы: слабое накопление, отсутствие аккумуляции, слабая дискриминация.

Ключевые слова: *Apis mellifera*, тяжелые металлы, апимониторинг, звенья биологической цепи, коэффициент накопления, медь.

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенное-техногенное воздействие и загрязнение на различных (глобальном и региональном) уровнях сильно изменило экологическое состояние окружающей среды. Данные изменения диктуют необходимость поиска наиболее удобных и дешевых методов комплексного контроля. Один из динамично развивающихся методов – использование биоиндикаторов состояние окружающей среды, который был внедрен в конце прошлого века. Частный пример биоиндикационных исследований является апимониторинг – мониторинг с помощью пчел. Он достаточно экономичный, но вместе с тем обеспечивает охват больших территорий. Экологическая значимость медоносных пчел (*Apis mellifera* L.) определяется их присутствием в самых разнообразных типах биогеоценозов (Билалов и др., 2010; Sychev et al., 2022).

Одними из основных и опасных химических загрязнителей почв крупных населенных пунктов являются тяжелые металлы. Проникая в почву, они начинают накапливаться и перемещаться по звеньям пищевых цепей, а также напрямую воздействовать на человека (Сычев, Низамов, 2022).

Медь – минерал из класса самородных элементов, принимает активное участие в кроветворении, в большом количестве всевозможных обменных процессов, составляя часть ингредиентов многих ферментов.

Соединения меди широко используются в химической промышленности. Некоторые соединения меди применяются в пиротехнике и в керамической промышленности. Ряд неорганических соединений меди используется в сельском хозяйстве в качестве фунгицидов. Для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур также применяются соединения меди в сочетании с соединениями мышьяка.

Медь обладает способностью накапливаться в организме человека, в растениях, грибах. Медь считается одним из самых опасных тяжелых металлов, так же как ртуть мышьяк и кадмий (Bilalov et al., 2015)

С учетом разноречивости литературных данных о значительных колебаниях в концентрации меди в апипродуктах в зависимости от района, геохимических, промышленных, климатических и агрохимических особенностей, нами проведены настоящие исследования, целью которых являлось изучение накопления и распределения меди (Cu⁺) в почве, организме пчёл и апипродуктах, собранных в различных районах Республики Татарстан.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве материала для исследования использовали 195 образцов почвы, 288 проб меда (85), пыльцы (69), перги (71) и пчел (63), отобранных на территории 8 районов Республики Татарстан и относящихся к районам с наиболее высокой техногенной нагрузкой, в пасечных зонах 8 районов (Альметьевского, Азнакаевского, Бугульминского, Заинского, Лениногорского, Новошешминского, Черемшанского, Чистопольского районов РТ). Забор проб на содержание тяжелых металлов в пыльце (обножке) производились на 21 пасеке в течение 5 лет 3-хкратно (май, июль – август).

На первом этапе проводили пробоподготовку. Для этого отбор проб почвы осуществляли в соответствии с требованиями к отбору проб почв при общих и локальных загрязнениях, изложенных в МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы пасечных мест» и в ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТСЭВ 3847-82) «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». Навески каждой пробы почвы готовили по 0,5 г, которая помещалась в тефлоновый стаканчик, добавлялось 10 мл концентрированной азотной кислоты. Готовую реакционную смесь помещали в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. На следующем этапе осуществляли разложение проб в минерализаторе. Герметично закрытые стаканчики с реакционной смесью помещали в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. Разложение проб в печи происходило при температуре 165 °С, мощности 400 Вт, давлении 35000 кПа (350 бар) в течение 2 мин. По завершении программы разложения и охлаждения, полученный раствор фильтровали через фильтр «Синяя лента», в мерную колбу на 100 см³. Затем дистиллированной водой доводили раствор до метки. Коэффициент разбавления образцов проб почвы составлял 5. Параллельно готовили контрольный раствор с использованием тех же реактивов, что и для подготовки анализируемой пробы.

На втором этапе работы определяли содержание меди в исследуемых пробах методом масс-спектрометрии с использованием индуктивно связанной плазмы (ICP-MS). Для этого два анализируемых (параллельно определяемых) и контрольный (холостой) раствор помещали в загрузочное устройство прибора и измеряли 3 раза выходной сигнал. Затем проводили обработку результатов с использованием методов вариационной статистики.

Сбор цветочной пыльцы в исследуемых районах осуществляли с помощью навесного пылеуловителя. При сборе пыльцы учитывали критерии ГОСТ 28887-90 «Пыльца цветочная (обножка)» и СанПиН 2.3.2. 1078 -01. Для пробоподготовки готовили навески цветочной пыльцы по 0,5 г. Каждую навеску помещали во фторопластовые цилиндры (PTFE, VitonTM, TeflonTM, PFA), добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты. Готовую

реакционную смесь помещали в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. На следующем этапе осуществляли разложение проб в минерализаторе, помещая герметично закрытые стаканчики с реакционной смесью в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. Разложение проб в печи происходило при температуре 165 °С, мощности 400 Вт, давлении 35000 кПа (350 бар) в течение 2 мин. По завершении программы разложения и охлаждения, полученный раствор фильтровали через фильтр «Синяя лента», в мерную колбу на 100 см³. Затем дистиллированной водой доводили раствор до метки. Коэффициент разбавления образцов проб пыльцы составлял 25 (K=25). Дальнейшие исследования по определению тяжелых металлов в пробах пыльцы проводили также, как в пробах почвы.

Для исследования содержания меди в пчелах, навески трупов пчел по 0,5 г, помещали во фторопластовые цилиндры (PTFE, VitonTM, TeflonTM, PFA), добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты. Готовую реакционную смесь помещали в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. Дальнейшие исследования по разложению проб, определению концентраций меди и обработке полученных результатов проводили также, как в пробах почвы и пыльцы. По аналогичной методике проводили определение меди в перге и меде. Используя данные о концентрации меди в испытуемых пробах, рассчитывали коэффициент накопления (К_н) из почвы в организм пчел и продукты пчеловодства по формуле:

$$K_n = C_1/C,$$

где C₁ и C концентрации тяжелого металла в звене-акцепторе и звене-доноре соответственно (Galiullina et al., 2017).

Полученные данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты накопления и распределения меди в почве, организме пчел и апипродуктах представлены в таблице 1.

Таблица 1

Накопление и распределение меди в почве, организме пчел и апипродуктах, собранных в различных районах Республики Татарстан (мг/кг)

Район	Концентрация меди (мг/кг)				
	Почва	Мед	перга	пыльца	подмор пчел
Альметьевский	13,1	1,46	9,4	15,67	24,39
Бугульминский	8,59	1,32	6,3	7,99	12,31
Азнакаевский	9,78	1,39	5,9	6,93	4,41
Лениногорский	8,01	1,29	5,3	6,58	5,07
Новошешминский	3,6	1,13	6,03	5,83	5,09
Черемшанский	4,70	0,45	2,13	2,33	7,41
Чистопольский	9,97	1,03	1,01	0,97	2,39
Заинский	6,01	0,83	5,8	7,69	8,91

Из представленных в таблице 1 материалов видно, что изученные объекты (почва, пыльца растений, пчелы, мед и перга) контаминированы медью весьма неравномерно. Наиболее контаминированная медью почва была получена из Альметьевского района республики, наименее загрязненный почвенный слой относится к Новошешминскому району. По меду наиболее загрязненный – Альметьевский район, наименее – Черемшанский район. По перге,

пыльце и подмору пчел максимальная концентрация меди зафиксирована также в Альметьевском районе, минимальная в Чистопольском районе. Результаты неравномерного распределения в целом повторяют картину наших предыдущих исследований относительно железа (Fe⁺), кадмия (Cd⁺) и радионуклидов St⁹⁰ и Cs¹³⁷.

Накопление меди в звеньях биологической цепи. Результаты расчёта Кн меди в звене биологической цепи (ЗБЦ) почва-пыльца, пыльца-пчела, пчела-мед, пчела-перга (табл. 2) дают возможность отнести районы по степени аккумуляции в апипродуктах к одной из групп согласно принятой методики (Golovanova et al., 2016). Слабое накопление (Кн=1–10), отсутствие аккумуляции (Кн=0,1–1,0), слабая дискриминация (Кн=0,01–0,1), сильная дискриминация (Кн<0,01) и полное отсутствие аккумуляции (Кн=0).

Таблица 2

Коэффициенты накопления меди из почвы в апипродукты и организм пчел, обитающих в разных районах Республики Татарстан

Район	Звено биологической цепи			
	Почва-пыльца	Пыльца-пчела	Пчела-мед	Пчела-перга
Альметьевский	1,20	1,56	0,06	0,39
Бугульминский	0,93	1,54	0,11	0,51
Азнакаевский	0,71	0,64	0,32	1,34
Лениногорский	0,82	0,77	0,25	1,05
Новошешминский	1,62	0,87	0,22	1,18
Черемшанский	0,50	3,18	0,06	0,29
Чистопольский	0,10	2,46	0,43	0,42
Заинский	1,28	1,16	0,09	0,65

Слабое накопление показали Альметьевский (ЗБЦ почва-пыльца, пыльца-пчела), Бугульминский (ЗБЦ пыльца-пчела), Азнакаевский (ЗБЦ пчела-перга) Лениногорский (ЗБЦ пчела-перга), Новошешминский (ЗБЦ почва-пыльца, пчела-перга), Черемшанский (ЗБЦ пыльца-пчела), Чистопольский (ЗБЦ пыльца-пчела), Заинский (ЗБЦ почва-пыльца, пыльца-пчела). Слабая дискриминация в ЗБЦ пчела-мед обнаружена в Альметьевском, Черемшанском и Заинском районах. В остальных ЗБЦ все районы показали отсутствие аккумуляции. Обнаружение различия степени аккумуляции меди в изученных апипродуктах объясняется комплексом факторов, способствующих усилению или дискриминации накопления тяжелого металла в том или ином объекте, физико-химических свойств тяжелых металлов, агрохимической характеристики почвы, биологической особенностью акцептора.

ВЫВОДЫ

Результаты апи мониторинга в районах с высоким антропо-техногенезом в Республике Татарстан показали существенную разницу в характере распределения меди и по уровням контаминации организмах пчёл и апипродуктах. Результаты проведенных исследований послужили основой для следующих выводов:

1. Распределение меди в организме пчёл и апипродуктах носила неравномерный характер. Наиболее высокая концентрация наблюдается в районах с высоким антропо-техногенезом.

2. Результаты проведенных расчетов по определению величины антропогенной нагрузки на исследованные апипродукты в звеньях биологической цепи «почва – пыльца», «пыльца – пчела», «пчела – мед» и «пчела – перга» позволили сгруппировать их по степени аккумуляции кадмия на 3 группы: слабое накопление (Кн=1–10), отсутствие аккумуляции (Кн=0,1–1,0), слабая дискриминация (Кн=0,01–0,1).

Список литературы

Билалов Ф. С., Скребнева Л. А., Латыпова В. З., Мукминов М. Н. Апимониторинг в системе контроля загрязнения окружающей среды. – Казань: Изд. КГУ, 2010 – 264 с.

Сычев К. В., Низамов Р. Н., Фазульянова А. Р., Мукминов М. Н. Накопление и распределение железа в организме пчел и продуктах пчеловодства в различных районах Республики Татарстан // Экология родного края: Проблемы и пути их решения: XVII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием 26–27 апреля 2022 г.– Книга 1. – Киров, 2022. – С. 310–312.

Bilalov F., Skrebneva L., Nikitin O., Shuralev E., Mukminov M. Seasonal variation in heavy-metal accumulation in honey bees as an indicator of environmental pollution // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – 6 (4). – С. 215–221.

Galiullina A. V. Nizamov R. N. Vagin K. N. Sychev K. V., Vakilova D. G., Mukminov M. N. Accumulation and redistribution of radionuclides in honey bees and apiary products in the Republic of Tatarstan, Russia // Astra Salvensis. – 2017. – Suppl. 2/2017. – P. 581–590.

Golovanova A. M., Nizamov R. N., Sychev K. V., Vagin K. N., Mukminov M. N. A composite therapeutic preparation for radioisotope elimination: theoretical presuppositions // International Journal of Pharmacy & Technology. – 2016. – Vol. 8 (4). – P. 24558–24564.

Sychev K. V. Nizamov R. N. Accumulation and redistribution of cadmium in honeybees and apiary products in different areas of the Tatarstan Republic // Journal of Agriculture and Environment. – 2 (22). – 2022. – P. 1–4.

Sychev K. V., Nizamov R. N., Gainullin R.R., Kolochkova E.V. Accumulation and redistribution of copper in honeybees and apiary products in different areas of the Tatarstan Republic // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 183–187.

The present research is devoted to the analysis of the nature of the distribution and the degree of accumulation of the pollutant (copper (Cu⁺) in the soil-plant biogeocenosis (soil, pollen), bee products (perga, honey) and the organism of bees selected on the territory of Almetyevsk, Bugulminsky, Aznakaevsky, Leninogorsk, Novosheshminsky, Cheremshansky, Chistopolsky and Zainsky municipal districts of the Republic of Tatarstan. Due to the uneven distribution of oil fields and associated industrial centers (mainly the south-eastern part of the Republic), the above-mentioned areas have different levels of anthropogenic and technogenic impact. The results of the monitoring conducted using live bioindicators – bees and bee products (apimonitoring) in areas of intensive technogenesis (oil extraction, processing of petroleum products, production of petrochemical products and associated raw materials) of the Republic of Tatarstan showed significant differences in the levels of contamination, the nature of the distribution of pollutants (Cu⁺ copper) in bee products (perga, honey) and the body bees. It was found that the distribution of the pollutant (Cu⁺ copper) between the studied areas has a very uneven character. Also, using data on the concentration of a pollutant (Cu⁺ copper) in the studied samples (soil, pollen, parchment, honey, bee organisms), the accumulation coefficient (Kn) in the donor and acceptor links was calculated. According to the content of the pollutant (Cu⁺ copper) in the links of the biological chain "soil – pollen", "pollen – bee", "bee – honey" and "bee – perga", the districts of the Republic were grouped, according to the accumulation coefficient, into the following groups: weak accumulation, lack of accumulation, weak discrimination.

Key words: *Apis mellifera* L., heavy metals, apimonitoring, links of the biological chain, accumulation coefficient, copper.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 15.01.23

УДК 502.4: 37.018

Эколого-просветительский потенциал городских особоохраняемых природных территорий на примере заказника «Воробьёвы горы» (Москва)

Таранец И. П., Попова Л. В.

*Научно-учебный Музей землеведения Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия
irina.taranets@icloud.com; lypo.eco@mail.ru*

В конце XX века в нашей стране одновременно с увеличением количества особо охраняемых природных территорий (ООПТ) регионального значения стали создаваться и ООПТ в городах. В настоящее время в городе Москве насчитывается 145 ООПТ различных категорий: от национального парка «Лосиный остров» до природных заказников и памятников природы. На многих городских ООПТ созданы и функционируют эколого-просветительские центры, которые вносят значительный вклад в экологическое просвещение городских жителей за счет проведения природоохранных мероприятий. Однако в городе Москве наиболее популярными становятся прогулочные экологические тропы на территориях ООПТ, посещение которых не только позволяет отдохнуть, но и знакомит граждан с растительным и животным миром. Но оформлены ли они должным образом и что наиболее важно для посетителей? В данной статье с помощью отдельных критериев (информативность, привлекательность, доступность, благоустройство и др.) проанализирован эколого-просветительский потенциал заказника «Воробьёвы горы», который находится в центре Москвы. Показано, что на территории заказника имеются три экологических тропы, на которых осуществляется эколого-просветительская работа с посетителями разного возраста. При всей привлекательности природной территории и большого просветительского потенциала существующих экологических троп можно заключить, что они нуждаются в реконструкции и индивидуализации, в том числе с использованием современных цифровых технологий, например QR-кодов. Кроме природоохранной и информационной составляющих в оформлении экологических троп следует учитывать их благоустройство для доступа людей с ограниченными возможностями здоровья.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, заказник «Воробьёвы горы», экологическая тропа, экологическое просвещение, эколого-просветительский потенциал.

ВВЕДЕНИЕ

Город Москва – крупный мегаполис, в котором сложилась уникальная система особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Помимо Федерального закона об ООПТ от 14 марта 1995 года № 33, разработаны и утверждены собственные законы об ООПТ регионального значения. В законе города Москвы от 26 сентября 2011 года № 48 в зависимости от целевого назначения различаются следующие категории ООПТ: национальный парк; природный парк; природно-исторический парк; экологический парк; природный заказник; памятник природы; заповедный участок; ботанический сад, дендрологический парк; городской лес; водоохранная зона; иные категории особо охраняемых природных территорий, установленные федеральным законодательством и законами города Москвы (Закон..., 2001). На сентябрь 2022 года 145 ООПТ (Официальный сайт Мэра Москвы, 2022), более 19,5 тыс. га (Доклад..., 2022), ООПТ можно рассматривать, как важнейшие территории для сохранения биоразнообразия, которые являются местами обитаний животных и растений Москвы. В черте города насчитывается 198 позвоночных видов животных, 137 видов птиц и более 1600 видов растений (Доклад..., 2022). Сохранение биоразнообразия обеспечивает биологическую устойчивость и стабильное развитие городских экосистем. Кроме того, ООПТ способствуют оздоровительному эффекту, в том числе ландшафтотерапии (Довганюк, 2012), отдыху и экологическому просвещению.

На многих городских ООПТ созданы эколого-просветительские центры. В Москве функционирует 10 Экоцентров («Лесная сказка», «Битцевский лес», «Пчеловодство»,

«Царская пасека», «Воробьёвы горы», Экошкола «Кусково», «Конный двор», «Скворечник», «Московский эколог», «Цветоводство»). Они также являются местами, где осуществляется работа в области экологического просвещения с детьми и взрослыми посетителями. В 2021 году Экоцентрами было проведено 7 919 мероприятий, в которых приняли участие 332 786 человек. На городских ООПТ действуют 12 велосипедных маршрутов, находятся более 180 детских и спортивных площадок, 250 пикниковых точек с противопожарным инвентарем, 31 зона отдыха, 7 вольерных комплексов, 8 мест для катания на тюбингах, ледянках и санках, а также 13 экологических троп. Экологические тропы в Москве имеют общую протяженность около 40 км и оборудованы информационными стендами с описанием представителей флоры и фауны (Доклад..., 2022). Но для экологического просвещения только этой информации недостаточно, также требуется и интересная подача материала.

Цель статьи – определить особенности эколого-просветительского потенциала заказника «Воробьёвы горы» (Москва).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данной статьи явились информационные стенды, установленные на экологических тропах в природном заказнике «Воробьёвы горы» (три тропы: «На склонах Воробьёвых гор», «Андреевские пруды» и «На террасах Воробьёвых гор»), а также литературные источники по экологическому просвещению. Нами проведен анализ литературы, визуальный осмотр экологических троп в заказнике «Воробьёвы горы», а также сопоставление интерактивных элементов, размещенных в настоящее время на экотропах, с фотографиями экологических троп прежних лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важных направлений деятельности ООПТ является экологическое образование и экологическое просвещение, которое осуществляется с помощью музейных экспозиций в визит-центрах и Экоцентрах. На экологических тропах, проводятся учебные практики и занятия, ведутся научные исследования со студентами разных вузов, а также проводятся экскурсии и экопраздники («Международный день воды», «Всемирный день охраны окружающей среды», «Международный день птиц» и др.), мастер-классы для самых разных посетителей, выполняются школьные проекты. Одним из удобных объектов инфраструктуры, где можно самостоятельно или с экскурсоводом ознакомиться с природной территорией, являются экологические тропы. «Экологическая тропа (ЭТ) – это специальный маршрут, оборудованный в познавательных, воспитательных и оздоровительных целях для развития у посетителей навыков общения с природой и пропаганды экологических знаний» (Тропа в гармонии, 2007). ЭТ способствует созданию определённой среды, которая создается и (или) умело используется человеком для лучшего погружения в тематику той или иной природной территории. В природной обстановке удачно сочетаются познавательный процесс, расширение кругозора, отдых, оздоровительный аспект и психологический комфорт, а также посещение ЭТ может способствовать формированию экологической культуры граждан. В тоже же время на ЭТ с помощью специальных настилов и других элементов происходит перераспределение рекреантов, тем самым снижается нагрузка на окружающую среду (Таранец, 2022). Таким образом, на ЭТ осуществляется соединение экопросвещения, охраны природы и рекреации.

ЭТ бывают самыми разными (рис. 1). Однако, общепринятой их классификации как таковой нет, но специалисты выделяют 4 основные категории ЭТ, при этом каждый тип имеет свою специфику (Захлебный, 1986; Чижова, 1997; Тропа в гармонии с природой, 2007; Экологическая тропа..., 2010).

Воробьёвы горы – одно из самых известных мест в городе Москве. Топоним «Воробьёвы горы» сохранился с XIV века (название дано по с. Воробьёво) (Смолицкая, 1997). С середины XV века (1451 г.) село Воробьёво было куплено княгиней Софьей Витовтовной (Мячин, 1982; Рысин и др., 1996) и стало дворцовым. В 1911 году московские власти на склонах Воробьёвых

гор хотели сделать парк, название сохранилось на некоторых картах, но по-видимому из-за первой Мировой войны это не было осуществлено (Таранец, Алексеева, 2022). В 1987 году склоны Ленинских гор (Воробьёвых гор) были объявлены памятником природы геологического характера с уникальными формами рельефа, обнажениями и родниками. В 1998 году был организован государственный природный заказник «Воробьёвы горы» (рис. 2 а) (Постановление Правительства Москвы № 564 от 21.07.98). В 2004 году создана дирекция Государственного природоохранного учреждения «Природный заказник «Воробьёвы горы» (Морозова, Морозов, 2008).



Рис. 1. Классификация экологических троп

Площадь заказника составляет 137,02 га (Постановление Правительства от 3 сентября 2020 г. № 1446-ПП). Здесь произрастает настоящий широколиственный лес, в котором встречаются группы старовозрастных деревьев. Флора заказника насчитывает более 427 видов сосудистых растений из 240 родов и 74 семейств (аборигенные виды – 309 (74 %), из которых 43 включены в Красную книгу города Москвы и Приложение 1 к ней (Бронникова и др., 2017; Кадетов, 2011а, 2011б). Около 100 видов птиц, из которых 37 включены в Красную книгу города Москвы и Приложение 1 к ней (Кадетов, 2011а). На территории имеются выходы подземных вод (родники), которые обустроены и служат туристическими объектами и местами отдыха. На территории заказника располагаются три рукотворных пруда (рис. 2 б). Благодаря сложному оползневному рельефу и наличию малых эрозионных форм (овраги, балки), некоторые участки территории являются труднодоступными для ведения хозяйства и отдыха. Тем самым они представляют собой разнообразные биотопы, где сохранился сравнительно высокий для городских условий уровень биоразнообразия.

В 2005 году была открыта первая экологическая тропа в городе Москве в заказнике «Воробьёвы горы». Интересно, что в литературе можно встретить информацию, что еще в 1985 году была разработана учебная тропа – «Экологическая тропа «Ленинские горы», созданная Молодежным Советом МГУ по охране природы с представителями молодежных природоохранных организаций из 20 стран (Королева, 1986). Видимо, это был не оборудованный маршрут, а лишь территория, на которую можно было прийти с изданной брошюрой или с экскурсоводом. Сейчас в заказнике действуют три экологические тропы: «На склонах Воробьёвых гор», «Андреевские пруды» и «На террасах Воробьёвых гор» (Морозова, Морозов, 2008). Функционирует также вольерный комплекс, в котором обитают белки, фазаны, павлины и другие животные. Экотропы в заказнике можно классифицировать как познавательно-прогулочные, то есть это тропы выходного дня. При этом их можно использовать и как учебно-образовательные при участии специалиста, а также в отдельных местах они могут применяться для людей с ограниченными возможностями здоровья.

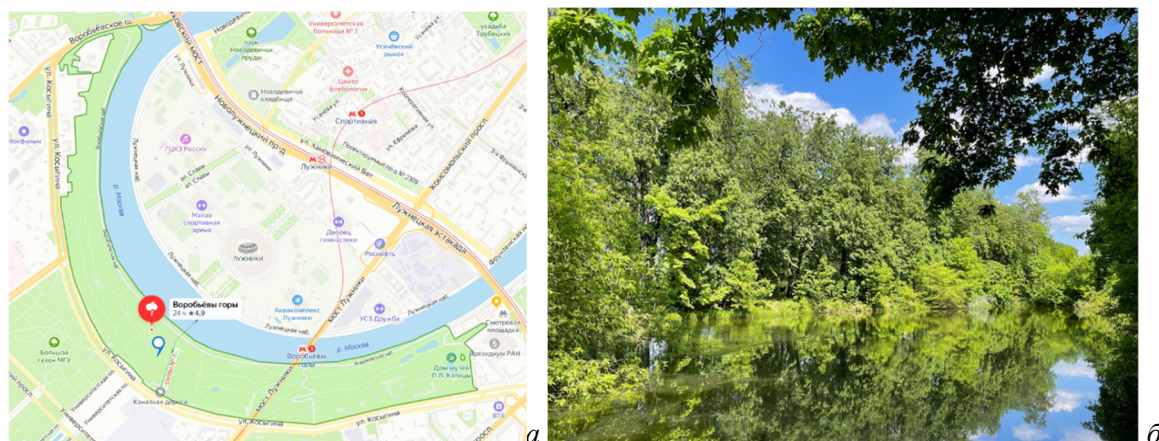


Рис. 2. Расположение заказника «Воробьёвы горы» (Границы заказника..., 2022) (а) и пруд на его территории (б)

Для определения эколого-просветительского потенциала ЭТ в заказнике «Воробьёвы горы» мы проанализировали их по ряду критериев, которые, на наш взгляд, очень важны для посетителей ЭТ и охраны природы (табл. 1). Отметим, что изначально еще в 2005 году ЭТ были созданы и оформлены в заказнике «Воробьёвы горы». Однако, в 2013 году по Постановлению Правительства Москвы (от 1 июля 2013 г. № 423-ПП) (Постановление..., 2013) заказник был передан в ведение Центрального парка культуры и отдыха имени М. Горького, вскоре оборудование ЭТ было изменено и многие интерактивные элементы убраны. Поэтому мы анализировали ЭТ, которые существовали до 2013 года и настоящее их состояние, то есть после передачи заказника другой организации.

Выбранные для анализа критерии экологических троп (таб. 1):

- *привлекательность* (на сколько ЭТ живописны, встречаются разные биотопы, экосистемы, необычные природные объекты);
- *доступность* (на сколько до ЭТ удобно добраться и их найти, обозначение ЭТ);
- *наличие правил использования, эксплуатации* (форма представления этих правил, директивная или нет);
- *информативность* (удовлетворение познавательных потребностей посетителей, на сколько комплексно представлена информация в области разных наук (экология, биологи, география, геология и др.), на сколько на ЭТ встречаются разные интерактивные элементы);
- *элементы благоустройства* (наличие настилов, дорожек, лавочек, беседок, туалетов);
- *возможность использования ЭТ людьми с ограниченными возможностями здоровья* (наличие пандусов, объектов для слепых посетителей).

Таблица 1

Объединенные характеристики всех экологических троп в заказнике «Воробьёвы горы»

Критерии экологической тропы	до 2013 года	2022 год
Привлекательность	+	+
Доступность	+	+
Наличие правил использования, эксплуатации	±	±
Информативность	+	±
Элементы благоустройства	+	+
Возможность использования ЭТ людьми с ограниченными возможностями здоровья	±	±

Примечание к таблице: + – полностью соответствует; ± – частично соответствует.

Наш анализ показал, что ЭТ в заказнике «Воробьёвы горы» остаются привлекательными, как и сама природная территория, где в том числе возможно познакомиться с историей и памятниками культуры (например, с объектом культурного наследия народов РФ Андреевским монастырем в Пленницах). Но сделать это можно только в сопровождении экскурсовода. К сожалению, историческая составляющая в настоящее время в информационных стендах практически отсутствует. Заказник является доступной и удобно расположенной территорией (станция метро «Воробьёвы горы»). Однако, в настоящее время не все ЭТ обозначены соответствующей маркировкой, где находятся те или иные маршруты. К сожалению, до сих пор правила нахождения на территории прописаны на стендах в директивной манере, а не в информационном формате, который способствовал бы формированию экологической культуры поведения на природе (Трап, 1994; Чижова, 1997; Тропа в гармонии, 2007).

Содержание экологической тропы и оборудованные на ней различные интерактивные элементы (объекты, которые можно потрогать; услышать звуки природы и др.) способствуют повышению эффективности экологического просвещения. Прежде всего это понимание посетителями тропы уникальности того места, где они находятся, на сколько им интересно получить разные сведения, на сколько понятно и эстетично преподносится информация. Из таблицы 1 видно, что критерий «информативность» на ЭТ отличается до 2013 года и после. Например, одна из троп, возле Лесного прудика сильно изменилась в худшую сторону. Ранее на ней находились не только информационные стенды, которые отражали экологию видов растений и животных, геологическое строение и историю местности, но имели отличительные черты в наглядности и тактильном восприятии экспозиции. Например, находился геологический стенд рядом с валунами, стенд с выпуклыми следами зверей, экспонат с разными стволами деревьев, которые произрастают в заказнике (рис. 4). Эти элементы нравились самым разным посетителям, и их можно было демонстрировать слепым и слабовидящим людям. В настоящее время данные объекты отсутствуют. На ЭТ появилась лишь информация, представленная только на стендах с мелким шрифтом, с биологическими ошибками, которая касается лишь некоторых видов, произрастающих или обитающих на территории. Однако, было установлено много кормушек для птиц, а в некоторых местах с объяснением правил кормления животных.



Рис. 4. Интерактивный элемент на экологической тропе до 2013 года

Комфортность нахождения человека на маршруте также важна. Как раньше, так и сейчас экологические тропы проходят по красивым местам заказника. На тропах находятся удобные беседки, лавочки, есть туалеты в начале маршрута и на набережной (рис. 5 а). Нельзя забывать и о рекреационной составляющей, на сколько тропа безопасна не только для посетителей, но и природы, то есть снижены различные антропогенные факторы (вытаптывание, «шумовое и световое загрязнения» и др.). Как прежде, так и сейчас посетители перемещаются по установленной траектории движения (тропам с деревянными настилами, дорожкам из мелкого гравия, асфальтированным участкам дороги):- Однако, сейчас некоторые стенды установлены не очень удобно для чтения, чтобы ознакомиться с информацией людям приходится сходить с тропы (рис. 5 б).



Рис. 5. Элементы благоустройства Заказника и ЭТ (а) и невольное вытаптывание территории (б)

К сожалению, не на всех тропах есть возможность их использования людьми с ограниченными возможностями здоровья. Есть места, где сложно заехать на коляске, что-то узнать слепому человеку, так как специальных экспонатов со шрифтом Брайля на стендах не предусмотрено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Город, разрастаясь, изменяет качество и параметры естественной среды, поэтому поддержание ООПТ и создание новых природных территорий является очень актуальным не только для сохранения биоразнообразия, но здоровья населения. Однако, без понимания населением природоохранной составляющей очень сложно сохранить природу, особенно в городе. Экологические тропы могут способствовать формированию экологического сознания, экологической культуры населения. Посетители могут передавать, транслировать дальше свое отношение, мотивированность по тем или иным природоохранным вопросам, тем самым помогать делу охраны природы. Поэтому проектирование, создание экотроп, наполнение и дальнейшее их поддержание – это очень ответственная и методически сложная задача, требующая комплексности решений. Заказник «Воробьевы горы» обладает большим эколого-просветительским потенциалом и доступностью для посетителей в разные сезоны года. Однако в настоящее время информация на всех экотропах преподносится однотипно, с использованием только мало информативных стендов, ЭТ не имеют своей индивидуальности и уникальности. Не до конца учитывается возможность использования ЭТ людьми с ограниченными возможностями здоровья. Следовательно, необходимо изменить концепцию существующих ЭТ, дополнив их новым контентом, не только с помощью разных экспонатов, но и комплексно показав данную территорию (история, экология, геология, география и др.), возможно, с применением разных технологий, например, QR-кодов.

Таким образом, для эффективной эколого-просветительской деятельности нужно, чтобы учитывались следующие критерии: привлекательность (психологическая комфортность), доступность, наличие грамотно составленных правил использования и эксплуатации, информативность, элементы благоустройства (с природоохранной составляющей), возможность использования ЭТ людьми с ограниченными возможностями здоровья. Кроме того, нужно помнить о поддержании экологических троп и о постоянном их развитии, чтобы они всегда соответствовали интересам посетителей и выполняли природоохранную и информационную функции.

Список литературы

Бронникова В. К., Кадетов Н. Г., Губанов М. Н., Маркова О. И., Самсонова С. Ю., Кадетова А. А. Природный заказник «Воробьёвы горы» // Экологический атлас России. Природные и техногенные опасности. – М.: ООО «Феория», 2017. – С. 470–473.

Границы заказника «Воробьёвы горы». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://yandex.ru/maps/org/vorobyovy_gory/155977485195/?ll=37.556132%2C55.717388&pt=37.545%2C55.71&source=entity_search&z=14.6 (просмотрено 2.07.2022).

Довганюк А. И. Медико-социальная реабилитация людей с нарушениями зрения путем ландшафтной организации специализированных экологических троп // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация – 2012. – № 2. – С. 37–40.

Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2021 году» / Под ред. А. О. Кульбачевского. – Москва, 2022. – 234 с.

Закон об ООПТ в городе Москве от 26 сентября 2001 года № 48 «Об особо охраняемых природных территориях в городе Москве» (с изменениями на 8 июня 2022 года) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/3630351> (просмотрено 6.10.2022).

Захлебный А. Н. На экологической тропе (опыт экологического воспитания). – М.: Знание, 1986. – 112 с.

Кадетов Н. Г. Редкие виды растений города Москвы во флоре природного заказника «Воробьёвы горы» // Роль ботанических садов и охраняемых природных территорий в изучении и сохранении разнообразия растений и грибов: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2011. – С. 131–133.

Кадетов Н. Г. Первоцветы Воробьёвых гор. Познавательная серия «История и природа Воробьёвых гор». – М.: ГПБУ Управление ООПТ по ЮЗАО и ЦАО, 2011. – 6 с.

Кадетов Н. Г. Редкие виды растений города Москвы во флоре природного заказника «Воробьёвы горы» // Роль ботанических садов и охраняемых природных территорий в изучении и сохранении разнообразия растений и грибов: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2011. – С. 131–133.

Королева Е. Г. Учебная тропа природы «Ленинские горы». – М.: Изд-во Московского университета им. М. В. Ломоносова, 1986. – 7 с.

Морозова И. А., Морозов В. Р. Заповедная территория. Научно-популярная серия «Воробьёвы горы». – М., 2008. – 48 с.

Мячин И. К. Площади и улицы Москвы: Путеводитель. – М.: Московский рабочий, 1982. – С. 136–149.

Официальный сайт Мэра Москвы. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. ООПТ Москвы, список. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/eco/function/departament/oopt-moskvy/?ysclid=17une7vry0125902924> (просмотрено 6.10.2022).

Постановление Правительства Москвы № 564 от 21.07.98 «О мерах по развитию территорий природного комплекса Москвы». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/28106220/> (просмотрено 6.10.2022).

Постановление Правительства Москвы (от 1 июля 2013 г. № 423-ПП) «Об оформлении земельно-имущественных отношений Государственному автономному учреждению культуры города Москвы «Центральный парк культуры и отдыха имени М. Горького и о признании утратившим силу отдельных положений постановлений Правительства Москвы от 19 июня 2012 № 293-ПП» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/6292220/> (просмотрено 6.10.2022).

Постановление Правительства от 3 сентября 2020 г. № 1446-ПП. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/565727336?ysclid=18xii9oe39986347448> (просмотрено 15.06.2019).

Рысин Л. П., Семенова-Прозоровская Е. А., Насимович Ю. А. Воробьёвы горы и Нескучный сад. – М., 1996. – 45 с.

Смолицкая Г. П. Названия московских улиц. – М.: Издательский дом «Муравей», 1997. – 23 с.

Таранец И. П. Особенности создания и эксплуатации экологических троп на природных территориях // Экологический туризм: современные векторы развития: коллективная монография / Уральский государственный педагогический университет; под редакцией О. Ю. Гурьевских [и др.]. – Электрон. дан. – Екатеринбург: [б. и.], 2022. – С. 287–292.

Таранец И. П., Алексеева В. А. Охрана природы на Воробьёвых горах: прошлое и настоящее // Жизнь Земли: Междисциплинарный научно-практический журнал. Т. 44, № 3. – М.: Издательство Московского университета; МАКС Пресс, 2022. – С. 319–333.

Трапп С., Гросс М., Циммерман Р. Маршрутные тропы, стенды и знаки. Соединяя людей и места. Из серии «Руководство для сотрудников природных объектов», Издательство Университета штата Висконсин (Русская книга подготовлена к обучающему семинару по экологическим тропам, проведенному совместно ЭкоЦентром «Заповедники» и Службой управления ресурсами рыб и диких животных США, 1996), 1994. – 107 с.

Тропа в гармонии с природой. Сборник российского и зарубежного опыта по созданию экологических троп. – М.: Р. Валент, 2007. – 176 с.

Чижова В. П. Школа природы. Экологическое образование в охраняемых природных территориях. – М.: «Текст», 1997. – 156 с.

Экологическая тропа. Методическое пособие для учителей Ташкент – 2010. – 53 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://sgr.uz/userfiles/files/Эко%20тропа_методическое%20пособие_рус.pdf (просмотрено 6.10.2022).

Taranets I. P., Popova L. V. Ecological and educational potential of urban protected areas and using ecological trails on the example of the Vorobyovy gory nature preserve in Moscow // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 188–195.

Protected areas in cities began to be created in our country at the end of the 20th century, simultaneously with an increase in the number of protected areas of regional significance. Currently, there are 145 protected areas in the city of Moscow of various categories: from the Losiny Ostrov national park to nature preserves and natural monuments. Environmental education centers have been created and are functioning in many urban protected areas. They make a significant contribution to the environmental education of urban residents. The most popular in the city of Moscow are gradually becoming walking ecological trails on protected areas. They attract citizens by the fact that they can not only relax, but also learn a lot about the flora and fauna. We are interested in two main questions: first, are they designed properly and second, what is most important for visitors? In this article, using certain criteria (richness of information, attractiveness, accessibility, landscaping, etc.), the environmental and educational potential of the Vorobyovy Gory nature preserve (zakaznik), which is located in the center of Moscow, is analyzed. There are three ecological trails on the territory of the preserve, where environmental education is carried out with visitors of different ages. They are characterized by high attractiveness of the natural area and great educational potential. However, they are in need of reconstruction, including individualization using modern digital technologies such as QR codes. It is also necessary to improve their amenities, taking into account the accessibility of people with disabilities

Key words: protected areas, the Vorobyovy Gory nature preserve, ecological trail, environmental education, environment and educational potential.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 30.12.22

УДК 57.083.3

Получение антигенных компонентов *Mycobacterium bovis* для потенциальной идентификации микробного сообщества в окружающей среде

Третьякова А. Б.¹, Валеева А. Р.^{1,2}, Мукминов М. Н.^{1,2}

¹ Институт экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета
Казань, Россия
annatreyackowa@yandex.ru

² Казанская государственная медицинская академия
Казань, Россия

Стратегической целью государственной политики Российской Федерации в области экологии является сохранение природных систем, повышения качества жизни, а также улучшения здоровья населения. *Mycobacterium bovis* (*M. bovis*) является одним из основных возбудителей туберкулеза животных, который является причиной крупных экономических потерь и представляет серьезную угрозу для здоровья населения. Приоритетным направлением для разработки новых подходов идентификации микобактерий в окружающей среде является поиск новых биологических маркеров. В результате исследования были выделены с использованием гель-фильтрационной хроматографии структурные компоненты *M. bovis* липидного и белкового происхождения. Реакция иммуноблот показала, что часть выделенных структурных компонентов серологически активны и могут быть использованы в качестве потенциального биологического маркера для идентификации микробного сообщества в окружающей среде. С гипериммунной сывороткой кролика против *M. bovis* реагировали выделенные структурные компоненты в диапазоне молекулярных масс от 10 кДа до 64 кДа. Особый интерес представляют структурные компоненты белкового происхождения, соответствующие молекулярной массе 10 кДа, предположительно соответствующие CFP-10, выступающему в качестве индуктора Т-клеток. Среди компонентов липидного происхождения особый интерес представляют структурные компоненты с молекулярными массами 25 кДа, 44 кДа, 48 кДа, предположительно соответствующие IrgP, IrgK, IrgQ, которые участвуют в механизме адаптации *M. bovis* при изменениях в окружающей среде.

Ключевые слова: *Mycobacterium bovis*, гель-фильтрационная хроматография, биологический маркер.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегической целью государственной политики Российской Федерации в области экологии является сохранение природных систем, повышения качества жизни, а также улучшения здоровья населения (Распоряжение Правительства Российской Федерации N 1225-р). Представители рода *Mycobacterium* распространены в окружающей среде и являются возбудителями широкого круга заболеваний у человека и млекопитающих. *M. bovis* является одним из основных возбудителей туберкулеза животных, приводящее к крупным экономическим потерям, и представляет серьезную угрозу для здоровья населения (Chen et al., 2021). На загрязненных территориях отмечается рост суммарной резистентности микобактерий, а также снижение доли чувствительных штаммов возбудителя к антибиотикам (Нуратинов и др., 2014). Быстрая идентификация патогенных микобактерий, в окружающей среде имеет решающее значение для поддержания благоприятной эколого-эпидемиологической обстановки территории. Недостатком классических методов является низкая чувствительность и специфичность (Van Ingen et al., 2009). Для идентификации бактерий до видового уровня используются высокочувствительные методы секвенирования ДНК, амплификации нуклеиновых кислот, полимеразной цепной реакция. Но высокая стоимость препятствует их широкому применению. Таким образом приоритетным направлением для разработки новых подходов идентификации микобактерий в окружающей среде является поиск новых биологических маркеров.

Целью работы стало получение антигенных компонентов *M. bovis*, которые возможно использовать в качестве потенциальных биологических маркеров для идентификации микробного сообщества в окружающей среде.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась 30 дневная культура *M. bovis* Bovinus-8 выращенная на синтетической питательной среде Soton. Клетки от питательной среды отделяли центрифугированием, в течение 45 мин при 15 °С, 4500 g. Осадок ресуспендировали в disH₂O в соотношении 1:8. Клетки разрушали с использованием гомогенизатора Fast Prep 24 (MP Biomedicals) с использованием пробирок Lysing Matrix B с шариками из карбида кремния d 0,1 mm (MP Biomedicals). После обработки отбирали разрушенные клетки из пробирок, вносили 0,1 М Tris-HCl буфер с pH 7, встряхивали на шейкере Microspin FV-2400 (Euro Plag, BioSan), выжидали 30–90 секунд и отбирали супернатант.

Фракционирование полученного материала проводили гель-фильтрационной хроматографией с использованием матрицы Sephadex® G-200 superfine на колонке Econo Alpha Column, 15 × 500 (Bio-Rad). Материал вносили в колонку в концентрации 1,076 мг/мл. В качестве элюента использовали 0,1 М Tris-HCl pH 7 (Северин и др., 1986). Условия разделения: чувствительность 50 мВ, скорость элюции 166 мкл/мин. Материал после хроматографии анализировали электрофорезом в 12,5 % полиакриламидном геле (ПААГ) по Laemmli U.K. (1970), и иммуноблотом по Towbin H. (1976) с гипериммунной кроличьей сывороткой против клеток *M. bovis* для определения и локализации зон серологической активности. Результаты документировали и обрабатывали с использованием Gel Doc XR (Bio-Rad) и программы Image Lab Software 5.1. Для характеристики химической природы структурных компонентов бактерий, было проведено окрашивание на белки и липополисахариды (Beer, 2018; Tsai, 1982).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения гель-фильтрационной хроматографии супернатанта, полученного разрушением клеток *M. bovis* Bovinus-8 штамм 70020, было получено 38 фракций. Материал элюировался двумя пиками. Первому пику соответствуют фракции с 1 по 5, второму пику соответствуют фракции с 13 по 28 фракцию (рис. 1).

По результатам реакции иммуноблот фракций после гель-фильтрационной хроматографии материала, полученного разрушением клеток *M. bovis* Bovinus-8 штамм 700201, серологическая активность наблюдается с 3 по 5 и с 11 по 19 фракциях. С 20 по 39 фракцию серологическая активность отсутствует. С гипериммунной сывороткой кролика против *M. bovis* реагировали выделенные структурные компоненты в диапазоне молекулярных масс от 10 кДа до 64 кДа.

Фракции 3, 4 и 5 имеют общий характер расположения зон серологической активности, наблюдается три схожих зоны, соответствующие молекулярной массе от 17 до 23 кДа. Фракции 11, 12, 13 и 14 имеют общую зону серологической активности равную 12 кДа. Фракции 15 и 16 имеют зоны серологической активности со схожей локализацией, соответствующие 48 кДа, 40 кДа, 23 кДа, 12 кДа и 10 кДа. Фракции 17, 18, 19 представляют три дискретных банд молекулярной массы 44 кДа, 25 кДа и 10 кДа (рис. 2).

В соответствии с локализацией зон серологической активности по результатам анализа денситограмм данные фракции были объединены.

При окрашивании на белок объединенных фракций, полученных в результате гель-фильтрационной хроматографии разрушенных клеток *M. bovis* Bovinus-8 штамм 700201, после электрофореза с 15 по 16 фракцию при окрашивании шла слабая реакция, отмечается один банд 10 кДа (рис. 3).

При окрашивании на белок объединенных фракций, полученных в результате гель-фильтрационной хроматографии разрушенных клеток *M. bovis* Bovinus-8 штамм 700201,

после электрофореза с 15 по 16 фракцию при окрашивании шла слабая реакция, отмечается один банд 10 кДа. С 17 по 19 фракцию отмечается два дискретных банд 34 кДа и 10 кДа. При окрашивании на липополисахариды шла более сильная реакция. С 15 по 16 фракцию первого материала отмечается 3 дискретных банд 48 кДа, 35 кДа и 25 кДа и 4 шмеры. В объединенных фракциях с 17 по 19 при окрашивании проявилось 11 дискретных бандов 180 кДа, 100 кДа, 60 кДа, 56 кДа, 52 кДа, 44 кДа, 38 кДа, 37 кДа, 32 кДа, 25 кДа, 20 кДа.

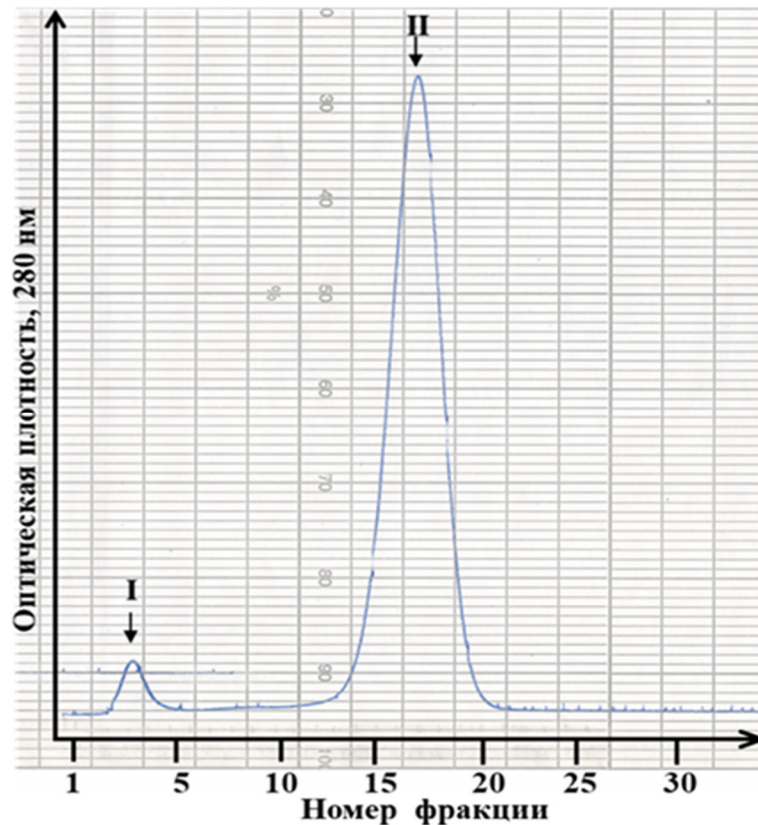
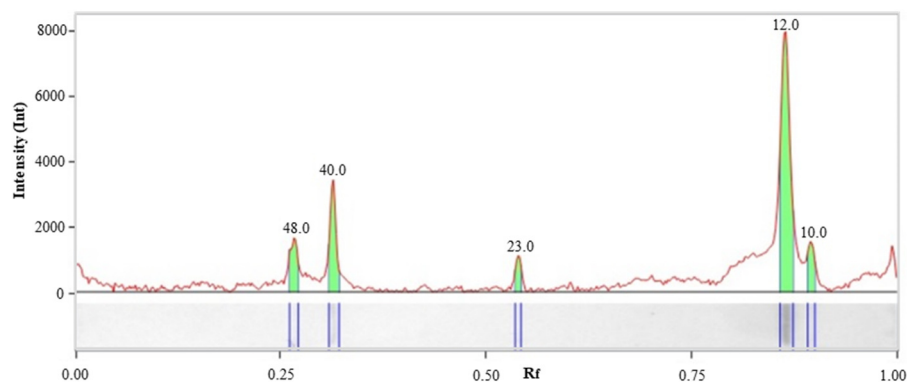


Рис. 1. Результаты фракционирования супернатанта, полученного разрушением клеток *Mycobacterium bovis* Bovinus-8 штамм 700201 методом геле-фильтрационной хроматографии на матрице Sephadex

Потенциально значимыми для применения в качестве биологических маркеров для идентификации *M. bovis* в окружающей среде являются фракции соответствующие молекулярной массе 10 кДа белковой природы и компоненты с молекулярными массами 25 кДа, 44 кДа и 48 кДа липидной природы. Зоны, соответствующие молекулярным массам, серологически активны, что доказывает возможность применения компонентов в качестве потенциального биологического маркера для идентификации.

Полученный компонент 10 кДа предположительно соответствует CFP-10. Данный белок был широко охарактеризован как рекомбинантный диагностический реагент из-за своей роли в качестве индуктора Т-клеток. Parsons, S. D., McGill, K. et al. (2016) в своих исследованиях подтверждают высокий уровень консервативности последовательности нуклеотидов и эпитопов в иммунодоминантном белке CFP-10. Кодированная последовательность белка CFP-10 расположена в *esxV*. Ген этого белка отсутствует у многих нетуберкулезных бактерий в окружающей среде, а также у противотуберкулезного вакцинного штамма *M. bovis* BCG (Waters et al., 2004).

А



Б

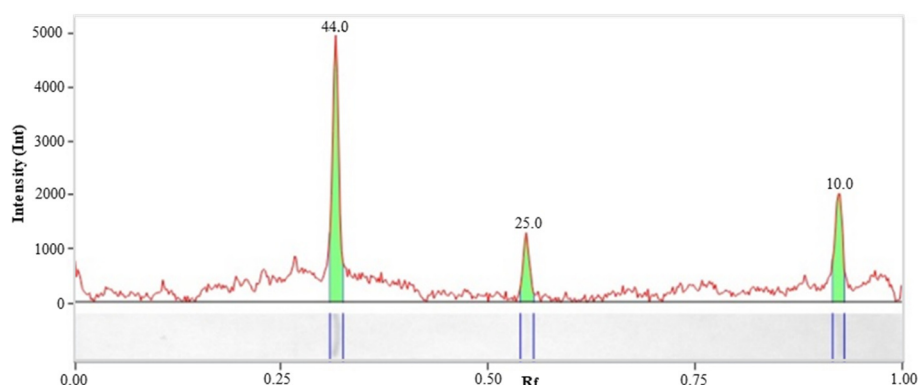
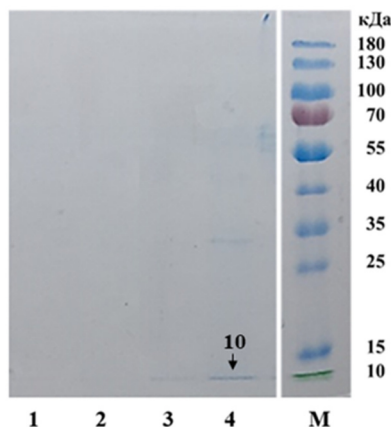


Рис. 2. Результаты обработки иммуноблота отдельных фракций, полученных в результате гель-фильтрационной хроматографии разрушенных клеток *M. bovis* Bovinus-8 штамм 700201 в программе Image Lab Software 5.1
Условные обозначения: А – 15 фракция, Б – 17 фракция.

А



Б

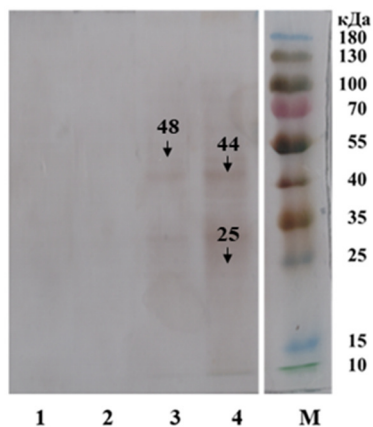


Рис. 3. Результаты окрашивания на (А) белки и (Б) липополисахариды после электрофореза объединенных фракций, полученных в результате гель-фильтрационной хроматографии разрушенных клеток *M. bovis* Bovinus-8 штамм 700201 в 12,5 % ПААГ
Условные обозначения: 1 – 3–5 фракции; 2 – 11–14 фракции; 3 – 15–16 фракции; 4 – 17–19 фракции; соответственно М – маркер молекулярной массы (PageRuler™ Prestained Protein Ladder, Thermo Scientific™).

Однако данный ген не является специфичным антигеном, ортологи CFP-10 присутствуют в геномах *M. leprae*, *M. smegmatis* и *M. tuberculosis*, а также у других патогенных микобактерий. Сходство между ортологами варьируется от 63 до 80 % (Gey van Pittius et al., 2002). CFP-10 образует комплекс с ESAT-6. Данный комплекс способствует проникновению микобактерии в клетку. Существующие диагностические тесты, основанные на комбинации CFP-10 и ESAT-6, демонстрируют высокую чувствительность (Кудлай, Докторова, 2022).

Компоненты 25, 44, 48 кДа липидной природы предположительно соответствуют IprqP, IprqK, IprqQ, которые являются специфичными для *M. bovis* (Marri et al., 2006). Гены связаны с метаболизмом жирных кислот и липидным обменом, что имеет важное значение в жизненном цикле микобактерий. Состав и организация клеточной оболочки микобактерий очень сложны, что является отличительной особенностью рода *Mycobacterium*. Клеточная оболочка играет несколько ролей в микобактериальной инфекции, включая модуляцию созревания фагосом, биогенез гранулемы и участвует в способности бактерий адаптироваться ко изменениям окружающей среды (Chen et al., 2021). Одним из механизмов адаптации микобактерий в окружающей среде является изменением липидного состава клеточной стенки, что влияет на скорость роста, метаболическую активность, а также устойчивость к антибиотикам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Быстрая идентификация *M. bovis*, в окружающей среде имеет решающее значение для поддержания благоприятной эколого-эпидемиологической обстановки территории. *M. bovis* является одним из основных возбудителей туберкулеза животных, которые представляет серьезную угрозу для здоровья населения и приводят к крупным экономическим потерям. В результате выполнения исследования были выделены с использованием гель-фильтрационной хроматографии структурные компоненты *M. bovis* липидного и белкового происхождения. По результатам реакции иммуноблот установлено, что часть выделенных структурных компонентов серологически активны и могут быть использованы в качестве биологических маркеров для потенциальной идентификации микробного сообщества в окружающей среде. С гипериммунной сывороткой кролика против *M. bovis* реагировали структурные компоненты в диапазоне молекулярных масс от 10 кДа до 64 кДа. Особый интерес представляли компоненты белковой природы с молекулярной массой 10 кДа предположительно соответствующие CFP-10, выступающему в качестве индуктора T-клеток. Также интерес представляли структурные компоненты липидной природы с молекулярными массами 25 кДа, 44 кДа, 48 кДа потенциально соответствующие IprqP, IprqK, IprqQ, которые участвуют в механизме адаптации *M. bovis* при изменениях в окружающей среде.

Список литературы

- Кудлай Д. А., Докторова Н. П. Антигены ESAT-6 И CFP-10 как субстрат биотехнологической молекулы. Возможности применения в медицине // Инфекция и иммунитет. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 439–449.
- Нуратинов Р. А., Месробян Н. Х. Экологические аспекты существования популяций микобактерий // Туберкулез и болезни легких. – 2014. – Т. 2. – С. 3–9.
- Распоряжение Правительства Российской Федерации N 1225-р «Об одобрении Экологической доктрины Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Информационно-правовой портал КонсультантПлюс. – 2002. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92097 (просмотрено 13.09.2022).
- Beer L. A., Speicher D. W. Protein Detection in Gels Using Fixation // Current protocols in protein science. – 2018. – Vol. 91, N 1. – P. 1–20.
- Северин С. Е., Соловьева Г. А. Практикум по биохимии: учебное пособие. – Москва: МГУ, 1989. – 509 с.
- Chen Y, Zhai W, Zhang K, Liu H, Zhu T, Su L, Bermudez L, Chen H, Guo A. Small RNA profiling in Mycobacterium insights into stress adapt ability // Frontiers in Microbiology. – 2021. – Vol. 12, N 4. – 752537–752252.
- Gey van Pittius N. C., Warren R. M., Van Helden P. D. ESAT-6 and CFP-10: what is the diagnosis // Infection and Immunity. – 2002. – Vol. 70, N 11. – P. 6509–6511.
- Laemmli, U. K. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4 // Nature. – 1970. – Vol. 227, N 5259 – P. 680–685.
- Marri P. R., Bannantine J. P., Golding G. B. Comparative genomics of metabolic pathways in Mycobacterium species: gene duplication, gene decay and lateral gene transfer // FEMS Microbiology Reviews. – 2006. – Vol. 30, N 6. – P. 906–925.

Parsons S. D., McGill K., Doyle M. B., Goosen W. J., van Helden P. D., Gormley, E. Antigen-Specific IP-10 Release Is a Sensitive Biomarker of *Mycobacterium bovis* Infection in Cattle // PLOS One. – 2016. – Vol. 11, N 5. – P. 155440–155450.

Towbin, H., Staehelin T., Gordon J. Electrophoretic transfer of proteins from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets: Procedure and some applications // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1979. – Vol. 76, N 9. – P. 4350–4354.

Tsai C. M., Frasch C. E. A sensitive silver stain for detecting lipopolysaccharides in polyacrylamide gels // Analytical Biochemistry. – 1982. – Vol. 119, N 1. – P. 115–119.

Van Ingen J., Boeree M. J., Dekhuijzen P. N., Van Soolingen D. Environmental sources of rapid growing nontuberculous mycobacteria causing disease in humans // European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases. – 2009. – Vol. 15, N 10. – P. 888–893.

Waters W. R., Nonnecke B. J., Palmer M. V., Robbe-Austermann S., Bannantine J. P., Stabel J. R., Whipple D. L., Payeur J. B., Estes D. M., Pitzer J. E., Minion F. C. Use of recombinant ESAT-6: CFP-10 fusion protein for differentiation of infections of cattle by *Mycobacterium bovis* and by *M. avium* subsp. *avium* and *M. avium* subsp. *paratuberculosis* // Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology. – 2004. – Vol. 11, N 4. – P. 729–735.

Tretiakova A. B., Valeeva A. R., Mukminov M. N. Obtaining antigenic components of *Mycobacterium bovis* for potential identification of microbial community in the environment // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 196–201.

The strategic goal of the state policy of the Russian Federation in the field of ecology is to preserve natural systems, improve the quality of life and health of the population. *Mycobacterium bovis* (*M. bovis*) is one of the main causative agents of tuberculosis in animals, leading to major economic losses and poses a serious threat to public health. A priority area for the development of new approaches to the identification of mycobacteria in the environment is the search for new biological markers. As a result of the study, structural components of *M. bovis* of lipid and protein nature were isolated with using gel filtration chromatography. The Western blot showed that some of the isolated structural components are serologically active and can potentially be used as a biological marker to identify a microbial community in the environment. Isolated structural components in the molecular mass range from 10 kDa to 64 kDa reacted with hyperimmune rabbit serum against *M. bovis*. Of particular interest to the marker are structural components of protein origin corresponding to a molecular mass of 10 kDa, presumably corresponding to CFP-10 acting as a T-cell inducer. Among the components of lipid nature, components with molecular mass of 25 kDa, 44 kDa, 48 kDa, presumably corresponding to lpqP, lpqK, lprQ, which are involved in the mechanism of adaptation of *M. bovis* under environmental changes, are of particular interest.

Key words: *Mycobacterium bovis*, gel-filtration chromatography, biological marker.

Поступила в редакцию 03.11.22

Принята к печати 30.12.22

УДК 574.632.; 504.064.3.; 594

Опыт использования пресноводных двустворчатых моллюсков – перловиц (*Unio pictorum*) в качестве биосенсоров в системах автоматизированного биосенсорного контроля нефтяного загрязнения вод в системах водоснабжения населения

Трусевич В. В., Журавский В. Ю.

*Институт природно-технических систем
Севастополь, Россия
trusev@list.ru*

Исследовали эффективность использования моллюсков – перловиц в комплексах биосенсорного контроля для обнаружения нефтяного загрязнения вод в системах водообеспечения населенных пунктов. Установлена высокая чувствительность моллюсков к нефтяному загрязнению – нижний порог чувствительности моллюсков составляет 0,005мл/л, что соответствует уровню ПДК для рыбохозяйственных предприятий. Долговременная эксплуатация комплекса показала высокую эффективность его использования для оценки качества водной среды пресноводных водоемов и рек.

Ключевые слова: биомониторинг, пресноводные водоемы, перловица, движение створок, нефтяное загрязнение, дизтопливо.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях быстро возрастающей интенсивности загрязнения рек, пресноводных водоемов и других источников водообеспечения населения, все большее значение приобретают автоматизированные биоэлектронные системы контроля вод, поступающих в системы водообеспечения населенных пунктов. Своевременное обнаружение возможности возникновения чрезвычайных ситуаций, в подавляющем большинстве случаев, позволяет успеть обеспечить проведение мероприятий по предотвращению нанесения ущерба среде и снизить последствия их воздействий. Особенно важно это для систем водоснабжения и в зонах выпускных коллекторов городов и промышленных предприятий. Первичные пункты автоматизированного контроля с использованием современных систем связи и обработки данных должны быть объединены в единые сети, охватывающие большие водные территории, с единым центром слежения (Kramer, Foekema, 2000; Borchherding, 2006; Musselmonitor, 2021).

В водной среде мы имеем дело со сложной смесью загрязняющих веществ, в которой наблюдается синергический эффект их совместного влияния. Современные системы мониторинга, базирующиеся преимущественно на физико-химических методах, трудоемки, дорогостоящи, дают фрагментарные сведения, охватывают традиционный узкий круг загрязняющих агентов, не обеспечивают непрерывного мониторинга и своевременного обнаружения внезапного выброса загрязнений и, в принципе, не могут оперативно определить степень опасности того или иного агента для экосистемы и человека (Крайнюкова, 1991; Kramer, Foekema, 2000; Borchherding 2006).

Объективная оценка состояния водных экосистем невозможна без использования биологических методов экологического мониторинга. С 1990-х годов в мире в решении проблемы организации непрерывного автоматизированного биомониторинга поверхностных вод, все большую роль играют биоэлектронные системы, так называемые системы раннего обнаружения (BEWS – Biological Early Warning Systems), в которых животные в качестве

сенсоров включены в электронную схему регистрации тех или иных физиологических, биохимических или поведенческих показателей (Крайнюкова, 1991; Kramer, Foekema, 2000; Borcharding 2006). В настоящее время в ряде стран Европы для контроля вод во всех сферах современного водопользования широко и успешно используются различные модификации биоэлектронных систем Musselmonitor и Dreissenamonitor в натуральных условиях водоемов. Их действие основано на регистрации поведенческих реакций морских и пресноводных двустворчатых моллюсков, то есть способности их закрывать створки на продолжительное время или изменять ритмику движений при воздействии неблагоприятных факторов (Borcharding, 2006). Эти системы, в отличие от физико-химических методов мониторинга, позволяют в реальном времени непрерывно получать интегральную токсикологическую характеристику среды, оценивать качество воды, как среды обитания гидробионтов и передавать информацию в on-line режиме (Borcharding, 2006; Musselmonitor, 2021). Наряду с описанными системами в практике экологического мониторинга вод используются системы автоматизированного контроля вод на основе оценки кардиоактивности моллюсков (Curtis et al., 2000). В РФ с 2005 года на 11 водозаборах водоканала Санкт-Петербурга успешно функционирует система автоматизированного мониторинга воды с использованием кардиоактивности речных раков (Холодкевич, 2007).

Нами в 2008 году разработан и испытан в течение ряда лет комплекс автоматического контроля и on-line оповещения в реальном времени об изменениях характеристик водной среды, являющийся аналогом систем Musselmonitor и Dreissenamonitor, предназначенный для эксплуатации в натуральных условиях морских и пресноводных водоемов (Трусевич и др., 2008).

В качестве биосенсоров при создании систем автоматизированного мониторинга для пресноводных систем очевидно наиболее целесообразно использовать наиболее распространенных двустворчатых моллюсков пресных вод – перловиц (*Unio pictorum*, Linnaeus 1758).

Однако в литературе имеются только единичные сведения об использовании этих моллюсков в системах биосенсорного мониторинга пресных вод (Трусевич и др., 2017).

Для разработки и использования систем автоматизированного биомониторинга на основе поведенческих реакций моллюсков, сведения об особенностях поведенческих реакций и характеристиках ритмики активности моллюсков в естественной среде обитания является определяющими. При этом принципиально важно использовать аборигенные виды. Необходимым элементом успешного функционирования этой системы является также оценка порогов чувствительности моллюсков к воздействию основных загрязняющих агентов водной среды (Трусевич и др., 2017).

В водные системы ежегодно поступают миллионы тонн сотен тысяч загрязняющих веществ, среди которых нефтяное загрязнение занимает одно из ведущих мест. Нефтяное загрязнение является одним из ведущих факторов негативного антропогенного воздействия на водные экосистемы. Основными источниками загрязнения пресноводных водоемов, не связанных с нефтедобычей и водным транспортом, являются сточные воды коммунально-бытовой деятельности. Также углеводороды поступают в водоемы и в ходе дождевых смывов с полей и дорог, ветровой эрозии почв, выпадения атмосферных осадков (Коршунова и др., 2019). Нефть – это неспецифический групповой токсикант переменного состава, который относится к категории слаботоксичных и/или умеренно токсичных веществ. Наибольшую опасность для живых организмов представляют растворимые моноциклические ароматические углеводороды и устойчивые высокомолекулярные полиароматические углеводороды (ПАУ) (Патин, 2017).

Нефть и нефтепродукты являются наиболее опасными загрязнителями водной среды, которые оказывают отрицательное воздействие на трофические связи и круговороты веществ, накапливаются во всех слоях водной толщи и донных илах, загрязняют берега рек и озер, приводят к ухудшению физических и органолептических свойств воды, затрудняющие все виды водопользования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения работ использовали разработанные нами модификации комплексов автоматизированного мониторинга водной среды на основе поведенческих реакций двустворчатых моллюсков, являющиеся аналогами системы Musselmonitor, предназначенные для проведения исследований в натуральных условиях морских и пресноводных водоемов, с глубиной погружения до 20 метров. Комплексы автоматически в режиме реального времени обеспечивают получение цифровой информации о движении створок моллюсков, с помощью закрепленных на них датчиков Холла и магнита. Одновременно регистрируются индивидуальные реакции 16 животных. Чувствительность прибора 0,1 мм. Непрерывный съем информации, с регистрацией сигналов, осуществляется через 1 минуту. Латентный период реагирования системы на загрязнение, в зависимости от природы и концентрации, от нескольких секунд до нескольких минут. Компьютерные программы позволяют в режиме реального времени транслировать информацию в on-line режиме в соответствующие центры управления крупных водных регионов (Трусевичи др., 2008; Трусевич и др., 2016).

Работа была проведена на пресноводных моллюсках – перловицах (*Unio pictorum* Linnaeus, 1758) размером 40–45 мм, собранных в районе проведения работ. Для исследований фоновых характеристик поведения моллюсков приборы с закрепленными моллюсками находились в погруженном состоянии в основное русло реки Черная на гидроузлах № 11 и № 14 водоканала Севастополя с переходных мостков на глубину 1 метра практически непрерывно на протяжении 3-х лет. В качестве модельного объекта нефтяного загрязнения использовали водную эмульсию дизельного топлива в соотношении 1:1, которое является наиболее агрессивным компонентом нефтяного загрязнения и наиболее часто используется в лабораторных исследованиях изучению влияния нефтяного загрязнения на гидробионты (Клишин и др., 2016; Коршунова, Логинов, 2019). Эксперименты по оценке чувствительности к воздействию токсикантов, в том числе дизтоплива, проводили на гидроузле № 11 в аквариуме, объемом 120 литров, установленном на берегу реки, в котором размещались прибор с закрепленными моллюсками, при постоянном протоке воды из основного русла со скоростью 6 литров в минуту.

В качестве первого этапа биотестирования осуществлен скрининг воздействия стандартного дизельного топлива. Скрининг тесты были выполнены для установления самых низких концентраций солярового масла, которые способны вызывать немедленные отклонения в поведении моллюсков, с последующим использованием его результатов в системах биосенсорной индикации качества водной среды. Во избежание расслоения дизтоплива вносили в экспериментальные аквариумы в виде водной эмульсии, приготовленной продолжительным (15 минут) интенсивным взбалтыванием смеси воды и солярового масла в соотношении 1: 1.

Исследовались концентрации соляра: 0,5 мл/л (1,4 ПДК); 0, 05 мл/л (0,14 ПДК); 0,025 мл/л (0,071 ПДК) и 0,005 мл/л (0,0014 ПДК). Продолжительность каждого экспериментального воздействия составляла 2 часа. При проведении экспериментов рассчитанная концентрация поллютанта вводилась в аквариум, при выключенном на время эксперимента протоке воды, по трубке с расстояния 3-х метров. Равномерное перемешивание раствора в аквариуме достигалось использованием аквариумного микронасоса. Результаты экспериментов представлены на рисунках 1 и 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали наши исследования моллюски-перловицы демонстрируют высокую чувствительность к присутствию дизельного топлива в водной среде. Реакция моллюсков на воздействия дизельного топлива носит ярко выраженный дозозависимый характер. Появление в воде аквариума дизельного топлива в концентрации 0,5 мл /литр (1,4 ПДК) уже в первые минуты вызывает практически мгновенную синхронную реакцию моллюсков, проявляющуюся в резком увеличении частоты бессистемных схлопываний створок (10–20 в

час) (рис. 2), сопровождающихся уменьшением амплитуды раскрытия створок в среднем на 40 % от величины максимального раскрытия, сохраняющееся 8–10 часов после удаления токсиканта, что является характерным признаком стрессовой ситуации.

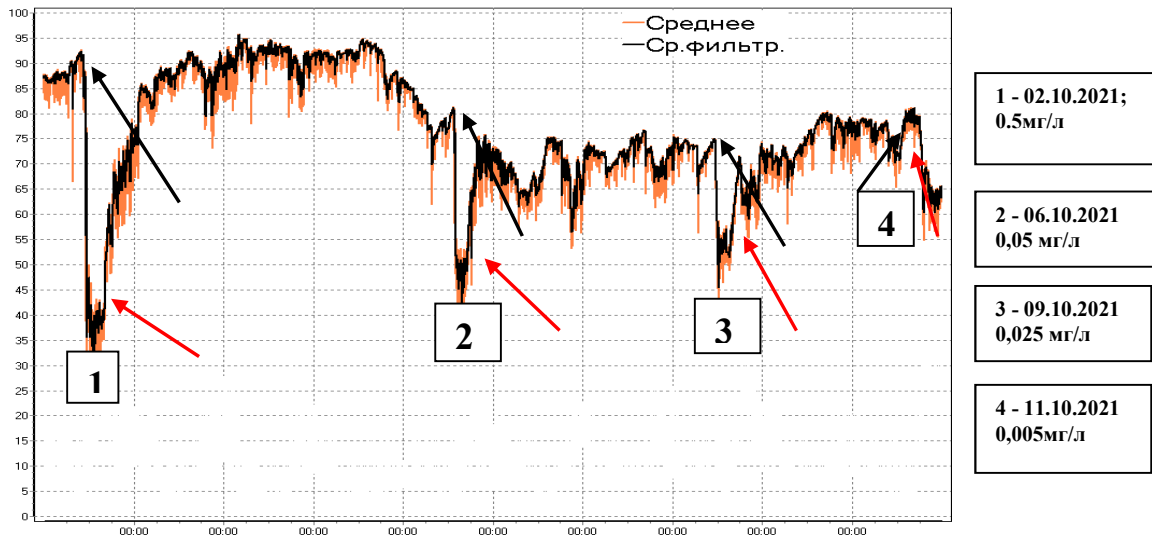


Рис. 1. График раскрытия створок моллюсков в течении эксперимента: черная стрелка – момент начала, красная – момент окончания воздействия

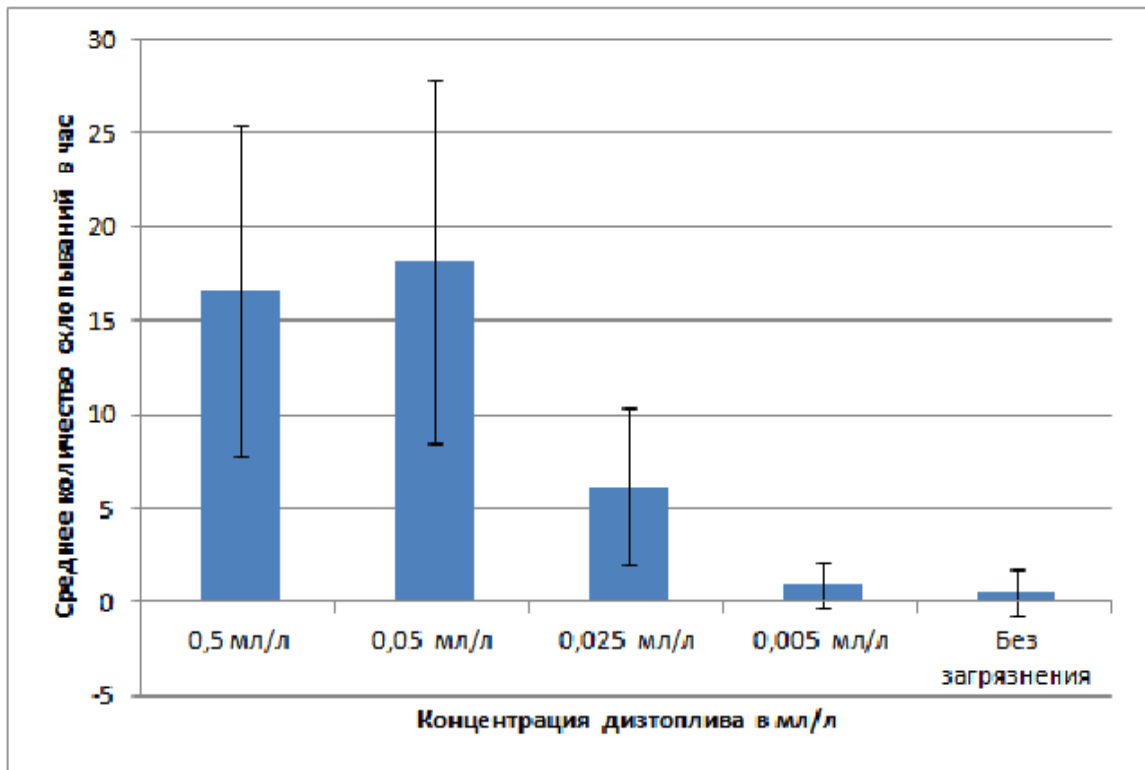


Рис. 2. Частота схлопываний створок в час при воздействиях

Реакция моллюсков уменьшается по мере снижения концентрации токсиканта. Скрининг – тесты воздействия дизельного топлива на поведенческие реакции моллюсков-перловиц

позволили установить что нижний порог чувствительности моллюсков составляет 0,005 мл/л, что соответствует уровню ПДК для рыбохозяйственных предприятий.

Мы не обнаружили в литературе сведений о чувствительности моллюсков – перловиц к кратковременным воздействиям нефти и дизельного топлива, что является важнейшим необходимым элементом функционирования комплекса автоматизированного мониторинга вод. Вместе с тем, имеется достаточно большое количество работ характеризующих влияние долговременных воздействий на выживаемость, изменение физиологических реакций, активности ферментных систем пресноводных моллюсков. Показано, что нефть и нефтепродукты провоцируют нарушения газового и фильтрационного процессов у бентосных беспозвоночных, изменение дыхательного и сердечного ритмов, поведенческих реакций, в том числе и двустворчатых моллюсков. Большинство видов водной фауны особенно уязвимы к действию нефти на ранних стадиях своего развития (икра, личинки, молодь) (Коршунова, Логинов, 2019; Патин, 2017). Двустворчатые моллюски характеризуются наибольшей устойчивостью к воздействию нефтеуглеводородов. Тем не менее, анализ выживаемости моллюсков под влиянием дизельного топлива показывает, что при концентрации дизельного топлива 0,5 мл/л численность моллюсков снижается на 20% в девятые и двенадцатые сутки. При концентрации дизельного топлива 1 мл/л численность моллюсков снижалась 40 % и 50 % на шестые и девятые сутки хронического влияния (Коршунова, Логинов, 2019). Главными изменениями внутренних органов моллюсков рода *Unio* под влиянием различных концентраций нефти являлись нарушения строения эпителиальной ткани жабр, кишечника, почечного мешка (Клишин и др., 2016). Эти материалы давая представление об общих реакциях пресноводных двустворчатых моллюсков, к сожалению, не отвечают на вопрос о возможности их использования в системах биосенсорного контроля вод. Наши предшествующие долговременные (на протяжении 3-х лет) и настоящее исследования показали, что моллюски-перловицы вполне успешно могут быть использованы в системах автоматизированного мониторинга пресных вод, сохраняя работоспособность в комплексах на протяжении не менее 2-х лет во все сезоны года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные об особенностях поведенческих реакций пресноводных моллюсков и результаты испытаний разработанных приборов являются достаточно полной базой для разработки и внедрения в нашей стране систем автоматизированного биомониторинга водной среды, на основе поведенческих реакций моллюсков, во всех сферах современного водопользования. Долговременная эксплуатация комплекса показала высокую эффективность его использования для оценки качества водной среды пресноводных водоемов и рек.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-45-920061.

Список литературы

- Крайнюкова А. Н. Биотестирование в системе оценки и контроля источников загрязнения водной среды // автореф. докт. биол. наук. Харьков, 1991. – 23 с.
- Клишин А. Ю., Каниева Н. А., Баджаева О. В., Фёдорова Н. Н. Нарушения органов и тканей моллюсков рода *Unio* под воздействием нефти // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 162. – С. 82–86.
- Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. – 2019. – Том 2, № 2. – С. 157–174
- Патин С. А. // Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х т. Т. 1 // Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: Изд-во ВНИРО, 2017. – 326 с.
- Трусевич В. В., Мишуков В. Ж., Кузьмин К. А. Современные биотехнологии в организации мониторинга водной среды // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – С. 395–399.

Трусевич В. В., Кузьмин К. А., Мишуров В. Ж. Биомониторинг водной среды с использованием пресноводных двустворчатых моллюсков // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2017. – Вып. 7 (27). – С. 83–93.

Холодкевич С. В. Биоэлектронный мониторинг уровня токсичности природных и сточных вод в реальном времени // Экологическая химия. – 2007. – 16 (4). – С. 223–232.

Холодкевич С. В. Кузнецова Т. В., Трусевич В. В., Куракин А. С., Иванов А. В. Особенности движения створок и кардиоактивности двустворчатых моллюсков при действии различных стрессоров // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 432–434.

Borcherding J. Ten years of practical experience with the Dreissena-Monitor, a biological early warning system for continuous water quality monitoring // Hydrobiologia. – 2006. – N 556. – P. 417–426.

Curtis T. M., Williamson, M. H. Depledge M. H. Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper // Marine Biology. – 2000. – Vol. 136. – P. 837–846.

Kramer K. J. M., Foekema E. M. The 'Musselmonitor (r)' as biological early warning system // Plenum «Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change. – New York, 2000. – Vol. II. – P. 59–87.

Musselmonitor [Электронный ресурс]. – Официальный сайт консалтинговой компании Mermayde. – 2021. – Режим доступа: <https://www.mermayde.nl/> (просмотрено 15.08.2022).

Trusevich V.V., Zhuravsky V.Yu. Experience with freshwater bivalve mollusks (*Unio pictorum*) as biosensors in systems for automated biosensor control of oil pollution of waters in systems water supply for the population // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 202–207.

The effectiveness of the use of bivalve mollusks in biosensor control complexes for detecting oil pollution of waters in public water supply systems was studied. A high sensitivity of mollusks to oil pollution has been established - the lower threshold of sensitivity of mollusks is 0.005 ml / l, which corresponds to the maximum permitted concentration level for fisheries. The long-term operation of the complex has shown the high efficiency of its use for assessing the quality of the aquatic environment of freshwater reservoirs and rivers.

Key words: biomonitoring, freshwater reservoirs, *Unio pictorum*, valve movement, oil pollution, diesel fuel.

Поступила в редакцию 25.11.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 378.147

Методология внедрения экологической компоненты в структуру и содержание лабораторно-практических занятий учебных дисциплин по программированию для инженерных направлений и профилей в техническом вузе

Тюльпинова Н. В.

*Брянский государственный технический университет
Брянск, Россия
ninatulpinova@mail.ru*

Описана нормативно-правовая база национальной стратегии экологического образования. Отмечена необходимость развития у обучающихся способности оценивать результаты и последствия своей деятельности с точки зрения нанесения или минимизации вреда окружающей среде. Рассмотрены методологические и прикладные аспекты формирования экологической культуры обучающихся в междисциплинарном контексте. Отмечена ключевая роль программирования в организации межпредметных связей между экологией, информатикой и математикой. Выявлено связующее звено между программированием и экологическим экспериментом. Предложена методология внедрения экологической компоненты в структуру и содержание лабораторно-практических занятий в курсе программирования. Сделан акцент на включение обучающихся в познавательную-исследовательскую деятельность, направленную на изучение экологических проблем и поиск путей их решения, на переход от объяснительно-иллюстративного к деятельностному подходу в обучении. Представлен пример разработки экологического приложения. Приведен соответствующий программный код и верификационный протокол. Обозначен педагогический потенциал программирования в борьбе с экологическим невежеством и неумением видеть и чувствовать связь между своим самочувствием, здоровьем, безопасностью и процессами, происходящими в природной среде, поскольку основой общечеловеческой культуры третьего тысячелетия является экологическая культура и взгляд на себя как на творца нового экологосообразного мира, базирующегося на междисциплинарном научном знании.

Ключевые слова: экология, программирование, междисциплинарная связь, планирование эксперимента.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основополагающим документом в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности в нашей стране являются «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации до 2030 года», утверждённые Президентом РФ 30 апреля 2012 года. Согласно этому документу, одной из основных задач государства является формирование экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания. При этом в качестве механизма реализации данной задачи предусмотрено формирование у всех слоев населения, а прежде всего у молодежи, экологически ответственного мировоззрения; включение вопросов охраны окружающей среды в новые образовательные стандарты; обеспечение направленности процесса воспитания и обучения в образовательных учреждениях на формирование экологически ответственного поведения. В этой связи весьма актуальной является экологизация образовательного процесса в междисциплинарном контексте, поскольку вопросы экологии в той или иной степени могут быть освещены в рамках всех без исключения учебных дисциплин в контексте области знаний каждой конкретной дисциплины. В настоящей статье рассматривается методология внедрения экологической компоненты в процесс преподавания учебных дисциплин по программированию для инженерных направлений и профилей в техническом вузе, так как именно программирование позволяет эффективно организовать междисциплинарные связи между экологией, информатикой и математикой, а также дает возможность сформировать исследовательские навыки решения экологических задач.

Цель настоящих исследований – выработать методологию внедрения экологической компоненты в структуру и содержание лабораторно-практических занятий учебных дисциплин по программированию для инженерных направлений и профилей в техническом вузе

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основу курса программирования в техническом вузе составляет изучение алгоритмов обработки массивов (одномерных и двумерных, векторов и матриц), а основу исследований в экологии составляет планирование эксперимента. Матричный подход в теории планирования эксперимента – это то связующее звено между программированием и экологическим экспериментом, которое позволяет наполнить смысловым экологическим содержанием решение традиционных программистских задач обработки массивов: объявление массивов, заполнение массивов, обработка массивов, вывод массивов. Сущность предлагаемой методологии заключается в том, что обучающийся в рамках лабораторно-практических занятий по теме «Массивы» в курсе программирования создаёт не какие-то абстрактные программы из задачника по программированию, а разрабатывает прикладные программы, посвящённые заданной экологической проблеме и её решению методом планирования экологического эксперимента. Для удобства программирования наиболее подходит двухуровневый полный факторный эксперимент. Исходными данными для таких экологических приложений могут являться опубликованные научные результаты экологических экспериментов различной направленности (Брындина, Полянский, 2013; Антонова, 2016*a*, 2016*b*; Ищенко, 2016; Холодов, 2016; Житенев, Андреюк, 2019; Кузнецов и др., 2020; Кулакова и др., 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлена методология внедрения экологической компоненты в структуру и содержание лабораторно-практических занятий по теме «Массивы» в курсе программирования, включающая 10 этапов.

Этап №1. Изучение обучающимися методов и приемов разработки алгоритмов и программ решения типовых задач обработки массивов (Тюльпинова, 2019*a*, 2019*b*).

Этап №2. Подготовка индивидуальных заданий для обучающихся на разработку экологических приложений.

Этап №3. Подготовка числовых верификационных расчётных примеров для обучающихся (Тюльпинова, 2020*a*, 2020*b*).

Этап №4. Постановка экологической проблемы перед обучающимися, например, «Загрязнение воды нитратами».

Этап №5. Рассмотрение этой проблемы совместно с обучающимися по некоторому заранее разработанному плану, например: 1) вред здоровью человека вследствие загрязнения воды нитратами; 2) источники загрязнения воды нитратами; 3) методы очистки воды от загрязнения её нитратами.

Этап №6. По итогам вышеуказанного рассмотрения обучающиеся разрабатывают первую часть своего экологического приложения, тезисно излагая суть рассматриваемой проблемы. Пример организации пользовательского интерфейса представлен на рисунке 1*a–d*. Такое приложение следует разрабатывать в среде визуального программирования (например, в IDE Lazarus) в целях закрепления навыков как формирования внешнего вида программы и её интерфейса, так и написания программного кода, заставляющего работать элементы этого интерфейса.

Этап №7. Описание обучающимся экологического эксперимента, направленного на решение поставленной проблемы; представление числовых данных этого эксперимента; описание алгоритма обработки этого эксперимента с приложением числовых верификационных расчётных примеров, например, исследуется эффективность ионообменной очистки воды от нитратов в зависимости от трёх факторов: 1) скорости фильтрации воды; 2) отношения высоты загрузки фильтрационной колонки к её диаметру; 3) температуры очищаемой воды (Житенев, Андреюк, 2019; Кулакова и др. 2021).

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ НИТРАТАМИ

ВРЕД (1) ВРЕД (2) ИСТОЧНИКИ ОЧИСТКА

Жизнь и здоровье человека тесно связаны с окружающей средой (биосферой), где одним из важнейших компонентов является вода. Загрязнение природных вод нитратами в результате антропогенной деятельности и техногенного воздействия предприятий наносит непоправимый ущерб экосистеме и делает воды непригодными для использования, так как употребление воды со сверхнормативным содержанием нитратов опасно для здоровья человека. Присутствие нитратов в питьевой воде приводит к заболеванию водонитратной метгемоглобинемией и способствует развитию различных степеней кислородного голодания организма.

Нитраты, поступая в организм с водой, под воздействием кишечной микрофлоры восстанавливаются в нитриты. Последние поступают в кровь и блокируют гемоглобин путем образования метгемоглобина, который не способен вступать в обратимую реакцию с кислородом и переносить его. В случае его накопления снижается насыщение артериальной крови кислородом, развивается гипоксия, возникает кислородное голодание. Если показатель метгемоглобина составляет 15 %, это проявляется быстрой утомляемостью, вялостью и головокружением. Увеличение метгемоглобина до 60 % приводит к летальному исходу. Снижение уровня гемоглобина может привести к ухудшению работы сердечной и сосудистой системы, закупорке сосудов и капилляров, инсульту. Кислородная недостаточность вызывает сильные головные боли, мигрени, обмороки и тошноту. Превышение концентрации нитратов в воде становится причиной отравления, нарушения работы желудочно-кишечного тракта, выделительной и эндокринной системы, разрушения зубной эмали и появления кариеса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ a

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ НИТРАТАМИ

ВРЕД (1) ВРЕД (2) ИСТОЧНИКИ ОЧИСТКА

Допустимая суточная доза нитратов, по данным экспертов ВОЗ, составляет 5 мг на 1 кг массы тела, или 350 мг для человека с массой тела 70 кг. При концентрации нитратов в воде на уровне гигиенического норматива (45 мг/л) в течение суток с 3 л воды в организм человека может поступить 135 мг нитратов. Острое отравление у взрослых наблюдается при поступлении 1-4 г нитратов. Доза 8 г нитратов может привести к гибели человека, а доза 13-14 г является абсолютно смертельной.

Особую опасность нитраты представляют для детей раннего возраста, у которых вследствие отсутствия метгемоглобинредуктазы (фременты, который разрушает метгемоглобин), происходит накопление метгемоглобина в крови, и когда его количество достигает 10%, появляются клинические признаки метгемоглобинемии: акроцианоз (синюшная окраска кожи носогубного треугольника, мочек уха, кончиков пальцев), одышка, тахикардия (учащенное сердцебиение). При тяжелых формах заболевания (содержание метгемоглобина до 30%) развиваются судороги, дыхание Чейна-Стокса и наступает смерть.

Однако, повышенное содержание нитратов в воде опасно для здоровья не только из-за развития гипоксии. Это связано с ролью нитратов в синтезе нитрозаминов и нитрозамидов. Нитрозамидам и нитрозамидам свойственно мутагенное и канцерогенное действие, поэтому повышенное содержание нитратов в воде способствует повышению онкологической заболеваемости населения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ b

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ НИТРАТАМИ

ВРЕД (1) ВРЕД (2) ИСТОЧНИКИ ОЧИСТКА

Нитраты – это ионы с одним зарядом (NO_3^-), соли азотной кислоты. Ранее было распространено известное многим специалистам и работникам сельского хозяйства название «селитра». Это вещество является эффективным и сравнительно недорогим удобрением, поэтому широко используется и в наши дни, несмотря на потенциальную опасность для здоровья человека.

Также нитраты являются конечным продуктом распада азотсодержащих белковых соединений, источниками которых могут быть трупы животных, моча, фекалии, бытовые отходы.

Наличие нитратов в воде говорит о естественном самоочищении водоема. В чистой природной воде содержание нитратов не превышает 1-2 мг/л. Однако нужно помнить, что широкое использование нитратных удобрений приводит к загрязнению воды нитратами через почву. Санитарными правилами установлена норма содержания нитратов в питьевой воде – 45 мг/л.

Активное загрязнение водоноса происходит по множеству причин. Среди них присутствует сброс промышленных отходов. Однако нитраты в воде из скважины могут также появляться и повышать свой «вес» за счет других факторов:

1. Недалеко от источника происходит слив бытовой химии.
2. Рядом располагается общественный туалет, яма для отходов, баня, септик.
3. На садово-огородной территории осуществляется обработка растений с помощью азотсодержащих удобрений (например, многие садоводы часто пользуются селитрой, содержащей огромный процент вредных соединений) большой концентрации.
4. Рядом с гидротехническим сооружением присутствует массовое захоронение.

Насыщение почвы нитратами приводит к постепенному проникновению химического соединения в водоносный горизонт, а далее – в скважинный источник.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ c

Рис. 1. Пользовательский интерфейс экологического приложения (начало)

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ НИТРАТАМИ

○ ВРЕД (1) ○ ВРЕД (2) ○ ИСТОЧНИКИ ○ **ОЧИСТКА**

Исследование методов физико-химической очистки природных вод является актуальной задачей. Перспективным методом очистки вод является метод ионного обмена. Ионообменные фильтры обеспечивают максимальный уровень очистки. Они могут применяться не только для подготовки питьевой воды, но и для очистки промышленных стоков. Прочие методы не способны обеспечить достаточный уровень очистки.

Ионный обмен – это специфический случай сорбции заряженных частиц (ионов), когда поглощение одних ионов сопровождается выходом в раствор других ионов, входящих в состав сорбента. При этом ион, присутствие которого в воде нежелательно, фиксируется на сорбенте. Таким образом происходит «замещение» одних ионов на другие. Сорбенты, работающие по такому механизму, называются ионообменными материалами или ионитами.

Водоподготовку путем ионного обмена выполняют при помощи специальных фильтрующих устройств (ионообменных колонок) — сначала их заполняют ионитами, а потом запускают воду. Для улучшения характеристик фильтрующего устройства, работающего по принципу ионного обмена, необходимо экспериментальным путем изучить зависимость эффективности водоочистки от различных технологических и конструктивных факторов и затем подобрать оптимальные параметры.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ *d*

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ НИТРАТАМИ



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НИТРАТОВ в зависимости от изменения следующих факторов работы ионообменной колонки:
 x1 – скорость фильтрации воды (диапазон: [10 м/час – 15 м/час])
 x2 – отношение высоты загрузки фильтрационной колонки к её диаметру (диапазон: [2 – 8])
 x3 – температура очищаемой воды (диапазон: [5 °С – 25 °С])

Метод исследований: полный факторный эксперимент ПФЭ 2³
 Число факторов: 3 Число уровней: 2 Число повторений: 3

Факторы очистки воды			Эффективность очистки воды (%)		
x1	x2	x3	y1	y2	y3
15	8	25	85.69	84.48	82.69
10	8	25	81.01	84.40	83.67
15	2	25	79.52	78.61	77.68
10	2	25	78.03	80.03	79.99
15	8	5	55.53	59.61	58.40
10	8	5	52.88	55.98	55.68
15	2	5	56.71	54.06	55.82
10	2	5	49.39	52.12	51.99

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА *e*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НИТРАТОВ (%)

$$Y = 68.082 + 0.985X_1 + 1.920X_2 + 13.235X_3 - 0.856X_1X_3$$

ДИАГРАММА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ФАКТОРОВ

1: (+) X3 температура очищаемой воды
 2: (+) X2 отношение высоты загрузки колонки к её диаметру
 3: (+) X1 скорость фильтрации воды
 4: (-) X1X3 взаимодействие скорости фильтрации и температу*r*

f

Рис. 1. Пользовательский интерфейс экологического приложения (окончание)

Этап № 8. По итогам вышеуказанного описания обучающиеся разрабатывают вычислительную программу обработки экологического эксперимента. Пример программного кода на языке программирования Паскаль представлен на рисунке 2, верификационный пример – на рисунке 3. Данную программу следует разрабатывать как консоль-приложение (например, в IDE Free Pascal) в целях закрепления навыков работы с массивами.

```

1: program ecology;          98:
2: uses crt;                 99:
3:                             100: for i:=1 to N do
4: const                     101:   for j:=1 to N do
5:   N=8;                     102:     XT[i,j]:=X[j,i];
6:   M=3;                     103:
7:   G:=0.5157;               104:   for i:=1 to N do
8:   t:=2.1199;               105:     for j:=1 to N do
9:                             106:       begin
10: var                        107:         S:=0;
11: X,XT,MULT1:array[1..N,1..N] of integer; 108:         for k:=1 to N do
12: OBR,TEMP:array[1..N,1..N] of real;    109:           S:=S+XT[i,k]*X[k,j];
13: Yexp:array[1..N,1..M] of real;        110:         MULT1[i,j]:=S;
14: i,j,k,S,token:integer;              111:       end;
15: S2:array[1..N] of real;              112:   for i:=1 to N do
16: t:array[1..N] of boolean;            113:     for j:=1 to N do
17: i,j,k,S,token:integer;              114:       OBR[i,j]:=MULT1[i,j];
18: sum,maxS2,sumS2,G_r,S2Y,S2B1,SBi:real; 115:
19: f:text;                              116:   for k:=1 to N do
20: str1,str2,strG,strt,strY:string;      117:     begin
21:                                     118:       for i:=1 to N do
22: begin                          119:         for j:=1 to N do
23:   clrscr;                        120:           begin
24:                                     121:             if (i=k) and (j=k) then
25:   token:=1;                       122:               TEMP[i,j]:=1/OBR[i,j];
26:   for j:=1 to N do                 123:             if (i=k) and (j<>k) then
27:     for i:=1 to N do                 124:               TEMP[i,j]:=-OBR[i,j]/OBR[k,k];
28:       begin                          125:             if (i<>k) and (j=k) then
29:         case j of                   126:               TEMP[i,j]:=OBR[i,k]/OBR[k,k];
30:           1: X[i,j]:=1;              127:             if (i<>k) and (j<>k) then
31:           2: if i mod 2 = 0 then      128:               TEMP[i,j]:=OBR[i,k]*OBR[k,j]*OBR[i,k]/OBR[k,k];
32:             X[i,j]:=-1;              129:           end;
33:           else                       130:         for i:=1 to N do
34:             X[i,j]:=1;              131:           for j:=1 to N do
35:           3: begin                   132:             OBR[i,j]:=TEMP[i,j];
36:             X[i,j]:=token;           133:         end;
37:             if i mod 2 = 0 then      134:         for i:=1 to N do
38:               token:=token*(-1);    135:           begin
39:             end;                    136:             sum:=0;
40:           4: begin                   137:             for k:=1 to N do
41:             X[i,j]:=token;           138:               sum:=sum+XT[i,k]*Y[k];
42:             if i mod 4 = 0 then      139:             MULT2[i]:=sum;
43:               token:=token*(-1);    140:           end;
44:             end;                    141:         for i:=1 to N do
45:           5: X[i,j]:=X[i,2]*X[i,3];  142:           begin
46:           6: X[i,j]:=X[i,2]*X[i,4];  143:             sum:=0;
47:           7: X[i,j]:=X[i,3]*X[i,4];  144:             for k:=1 to N do
48:           8: X[i,j]:=X[i,2]*X[i,3]*X[i,4]; 145:               sum:=sum+OBR[i,k]*MULT2[k];
49:           end;                      146:             B[i]:=sum;
50:         end;                        147:         end;
51:       assign(f,'exp.txt');           148:       end;
52:       reset(f);                     149:       S2Y:=sumS2/N;
53:       for i:=1 to N do               150:       S2B1:=S2Y/(N*M);
54:         for j:=1 to M do              151:       SBi:=sqrt(S2B1);
55:           read(f,Yexp[i,j]);         152:
56:         close(f);                    153:       for i:=1 to N do
57:       end;                            154:         t_r[i]:=abs(B[i])/SBi;
58:       for i:=1 to N do               155:       for j:=1 to N do
59:         begin                          156:         for i:=1 to N do
60:           sum:=0;                     157:           if t_r[i]>t then
61:           for j:=1 to M do            158:             t[i]:=TRUE;
62:             sum:=sum+Yexp[i,j];      159:           else
63:           Y[i]:=sum/M;                160:             t[i]:=FALSE;
64:         end;                          161:         end;
65:       for i:=1 to N do               162:       strY:='Y=';
66:         begin                          163:       for i:=1 to N do
67:           sum:=0;                     164:         if t[i]=TRUE then
68:           for j:=1 to M do            165:           begin
69:             sum:=sum+sqrt(Yexp[i,j]-Y[i]); 166:             str(B[i]:1:3,strt);
70:             S2[i]:=sum/(M-1);         167:             if (B[i]>0) and (i<>1)
71:           end;                        168:               then strt:='+'+strt;
72:         maxS2:=S2[1];                 169:             case i of
73:         for i:=2 to N do              170:           1: strY:=strY+strt;
74:           if S2[i]>maxS2 then          171:           2: strY:=strY+strt+'X1';
75:             maxS2:=S2[i];             172:           3: strY:=strY+strt+'X2';
76:         sumS2:=0;                      173:           4: strY:=strY+strt+'X3';
77:         for i:=1 to N do              174:           5: strY:=strY+strt+'X1X2';
78:           sumS2:=sumS2+S2[i];         175:           6: strY:=strY+strt+'X1X3';
79:         G_r:=maxS2/sumS2;              176:           7: strY:=strY+strt+'X2X3';
80:         if G_r<G_t then                177:           8: strY:=strY+strt+'X1X2X3';
81:           begin                          178:         end;
82:             str(G_r:1:4,str1);         179:       end;
83:             str(G_t:1:4,str2);         180:       assign(f,'report.txt');
84:             strG:='Gr=' +str1+'<Gt=' +str2; 181:       rewrite(f);
85:         end;                            182:
86:       else                              183:       writeln(f,' X');
87:       writeln('ERROR: INCREMENT M');    184:       for i:=1 to N do
88:       readkey;                          185:         begin
89:       halt;                              186:           for j:=1 to N do
90:       end;                                187:             write(f,X[i,j]:2);
91:     end;                                188:           writeln(f);
92:   end;                                  189:         end;
93:   readkey;                              190:       end;
94:   halt;                                  191:     end;
95:   end;                                  192:   end;
96:   end;                                  193:   end;
97:   end;                                  194:   end;
195:   writeln(f,' Yexp');                 196:   for i:=1 to N do
196:   for i:=1 to N do                     197:     begin
197:     for j:=1 to M do                   198:       for j:=1 to M do
198:       write(f,Yexp[i,j]:6:2);          199:         write(f,Yexp[i,j]:6:2);
199:     writeln(f);                          200:     writeln(f);
200:   end;                                  201:   end;
201:   writeln(f,' Y');                     202:   for i:=1 to N do
202:   for i:=1 to N do                     203:     writeln(f,S2[i]:6:3);
203:     writeln(f,S2[i]:6:3);               204:   for i:=1 to N do
204:   for i:=1 to N do                     205:     writeln(f,S2[i]:7:3);
205:     writeln(f,' maxS2=',maxS2:1:3);    206:   for i:=1 to N do
206:     writeln(f,' sumS2=',sumS2:1:3);    207:     writeln(f,S2[i]:6:3);
207:     writeln(f,' G_r=',G_r:1:4);        208:     writeln(f,' ',strG);
208:     writeln(f,' ',strG);                209:   end;
209:   writeln(f,' XT');                     210:   for i:=1 to N do
210:   for i:=1 to N do                     211:     begin
211:     for j:=1 to N do                   212:       for j:=1 to N do
212:       write(f,XT[i,j]:2);              213:         write(f,XT[i,j]:2);
213:     writeln(f);                          214:       end;
214:   end;                                  215:   end;
215:   writeln(f,' MULT1');                  216:   for i:=1 to N do
216:   for i:=1 to N do                     217:     begin
217:     for j:=1 to N do                   218:       for j:=1 to N do
218:       write(f,MULT1[i,j]:2);           219:         write(f,MULT1[i,j]:2);
219:     writeln(f);                          220:       end;
220:   end;                                  221:   end;
221:   writeln(f,' OBR');                    222:   for i:=1 to N do
222:   for i:=1 to N do                     223:     begin
223:     for j:=1 to N do                   224:       for j:=1 to N do
224:       write(f,OBR[i,j]:6:3);           225:         write(f,OBR[i,j]:6:3);
225:     writeln(f);                          226:       end;
226:   end;                                  227:   end;
227:   writeln(f,' MULT2');                  228:   for i:=1 to N do
228:   for i:=1 to N do                     229:     writeln(f,MULT2[i]:8:3);
229:     writeln(f,MULT2[i]:8:3);            230:   end;
230:   writeln(f,' B');                      231:   for i:=1 to N do
231:   for i:=1 to N do                     232:     writeln(f,B[i]:7:3);
232:     writeln(f,B[i]:7:3);                233:   end;
233:   writeln(f,' S2Y=',S2Y:1:3);          234:   for i:=1 to N do
234:   writeln(f,' S2B1=',S2B1:1:3);        235:     begin
235:   writeln(f,' SBi=',SBi:1:3);          236:     for j:=1 to N do
236:   writeln(f,' t_r');                    237:       write(f,OBR[i,j]:6:3);
237:   for i:=1 to N do                     238:     writeln(f);
238:     writeln(f,t_r[i]:9:4);              239:   end;
239:   writeln(f,' t_t=',t_t:1:4);          240:   end;
240:   writeln(f,' t');                      241:   for i:=1 to N do
241:   for i:=1 to N do                     242:     writeln(f,MULT2[i]:8:3);
242:     write(f,' ',t[i]);                  243:   end;
243:   write(f,' ',strY);                    244:   for i:=1 to N do
244:   close(f);                              245:     writeln(f,' B');
245:   writeln(strY);                          246:     for i:=1 to N do
246:   writeln('Пауза завершен!');            247:       writeln(f,B[i]:7:3);
247:   write('Протокол сохранен в файл "report.txt"!'); 248:   end;
248:   readkey;                                249:   for i:=1 to N do
249:   end;                                    250:     writeln(f,' S2Y=',S2Y:1:3);
250:   end;                                    251:     writeln(f,' S2B1=',S2B1:1:3);
251:   end;                                    252:     writeln(f,' SBi=',SBi:1:3);
252:   end;                                    253:     writeln(f,' t_r');
253:   end;                                    254:     for i:=1 to N do
254:   end;                                    255:     writeln(f,t_r[i]:9:4);
255:   end;                                    256:   end;
256:   end;                                    257:   writeln(f,' t_t=',t_t:1:4);
257:   end;                                    258:   end;
258:   end;                                    259:   writeln(f,' t');
259:   end;                                    260:   for i:=1 to N do
260:   end;                                    261:     writeln(f,' ',t[i]);
261:   end;                                    262:   end;
262:   end;                                    263:   write(f,' ',strY);
263:   end;                                    264:   close(f);
264:   end;                                    265:   writeln(strY);
265:   end;                                    266:   writeln('Пауза завершен!');
266:   end;                                    267:   write('Протокол сохранен в файл "report.txt"!');
267:   end;                                    268:   readkey;
268:   end;                                    269:   end;
269:   end;                                    270:   end;
270:   end;                                    271:   end;
271:   end;                                    272:   end;
272:   end;                                    273:   end;
273:   end;                                    274:   end;

```

Рис. 2. Программный код экологического приложения

X	Yexp	Y	S2
1 1 1 1 1 1 1 1	85.69 84.48 82.69	84.287	2.278
1 -1 1 1 -1 -1 1 -1	81.01 84.40 83.67	83.027	3.183
1 1 -1 1 -1 1 -1 -1	79.52 78.61 77.68	78.603	0.846
1 -1 -1 1 1 -1 -1 1	78.03 80.03 79.99	79.350	1.307
1 1 1 -1 1 -1 -1 -1	55.53 59.61 58.40	57.847	4.391
1 -1 1 -1 -1 1 -1 1	52.88 55.98 55.68	54.847	2.923
1 1 -1 -1 -1 -1 1 1	56.71 54.06 55.82	55.530	1.819
1 -1 -1 -1 1 1 1 -1	49.39 52.12 51.99	51.167	2.372

$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y)$								$MULT1 = X^T \cdot X$							
$X^T = X^T$															
1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0	0	0	0
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0	8	0	0	0	0	0	0
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0	0	8	0	0	0	0	0
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	8	0	0	0	0
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0	0	0	0	8	0	0	0
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0	0	0	0	0	8	0	0
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	0
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	8

$OBR = (X^T \cdot X)^{-1}$								$MULT2 = X^T \cdot Y$							
0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	544.657							
0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.877							
0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.357							
0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	105.877							
0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.643							
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	-6.850							
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	3.363							
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	3.370							

$B = OBR \cdot MULT2$		t_r		
68.082	S2Y=2.390	215.7444	> t t	TRUE
0.985	S2Bi=0.100	3.1200	> t t	TRUE
1.920	SBi=0.316	6.0829	> t t	TRUE
13.235	Критерий	41.9389	> t t	TRUE
0.080	Стъюдента	0.2548	< t t	FALSE
-0.856	t_t=2.1199	2.7134	> t t	TRUE
0.420		1.3323	< t t	FALSE
0.421		1.3349	< t t	FALSE

$Y = 68.082 + 0.985X_1 + 1.920X_2 + 13.235X_3 - 0.856X_1X_3$

Рис. 3. Верификационный пример экологического приложения

С точки зрения программирования, в программном коде (рис. 2) объявлению массивов посвящены строки 10–20, заполнению массивов – строки 25–57, обработке массивов – строки 59–181, выводу массивов – строки 183–265.

С точки зрения экологического эксперимента, в программном коде (рис. 2) формированию матрицы планирования эксперимента посвящены строки 25–50, чтению из файла результатов эксперимента – строки 52–57, проверке однородности дисперсий по критерию Кохрена – строки 59–97, расчёту и проверке значимости коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента – строки 99–181. В целях сокращения трудоёмкости программирования проверку адекватности модели по критерию Фишера можно опустить.

Результатом работы данного консоль-приложения является уравнение регрессии в безразмерной форме, а также числовой протокол всех расчётов, записанный файл (рис. 3).

Этап № 9. Если вышеуказанное консоль-приложение работает верно, то его программный код может быть использован для разработки второй части экологического приложения в IDE Lazarus (рис. 1 *e–f*), при этом обучающиеся реализуют не только вывод итоговой зависимости эффективности очистки воды от исследуемых факторов, но и представляют полученный результат в виде диаграммы влияния факторов и их взаимодействий.

Этап № 10. Анализ обучающимися полученной регрессионной модели и подготовка выводов с учётом интерпретации факторов и межфакторных взаимодействий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологическое образование обучающихся только тогда может быть высокоэффективным, когда различные аспекты его содержания раскрываются во взаимодействии учебных дисциплин. Представленная методология экологизации программирования направлена на преодоление экологического невежества, ведь, как известно, именно невежество, в смысле отсутствия или недостатка экологического образования, является причиной аварий, катастроф и бедствий, а в широком смысле – причиной глобального экологического кризиса. Это чрезвычайно важно, так как перед современными выпускниками технических вузов, которые ответственны за дальнейшее развитие техники и технологий, стоит задача по реализации этих технологий таким образом, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду.

Список литературы

Антонова Е. В. Исследование возможности применения скрытокристаллического графита для очистки вод от повышенного содержания железа // Проспект Свободный-2016: сборник матер. Междунар. конф. студ., асп. и мол. уч., посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств (Красноярск, 15-25 апреля 2016 г.). – Красноярск, 2016. – Зеленая металлургия. – С. 7–11.

Антонова Е. В., Бурцева Э. Н. Исследование возможности применения наноструктурированной композиции «алюминий – графит» для очистки отработанных вод от повышенного содержания железа // Проспект Свободный-2016: сборник матер. Междунар. конф. студ., асп. и мол. уч., посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств (Красноярск, 15-25 апреля 2016 г.). – Красноярск, 2016. – Зеленая металлургия. – С. 12–18.

Брындина Л. В., Полянский К. К. Математическое обоснование условий биосорбционной очистки белково-содержащих отработанных технологических вод // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – Т. 18, Вып. 4. – С. 1466 – 1470.

Житенев Б. Н., Андреев С. В. Планирование многофакторного эксперимента на примере ионообменной очистки воды от нитратов // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2 (115). – С. 38–43.

Ищенко Е. П. Очистка нефтезагрязненных почв с использованием лузги подсолнечника: дис. ... канд. техн. наук: спец. 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2016. – 132 с.

Кузнецов С. И., Венгер Е. А., Мищенко Е. В., Куликова И. О. Абсорбционный метод нейтрализации сернистого ангидрида // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2020. – № 2 (73). – С. 23–33.

Кулакова С. И., Подлипенская Л. Е., Мельничук Д. А. Организация и математическое планирование эксперимента. – Алчевск: ДонГТИ, 2021. – 121 с.

Тюльпинова Н. В. Алгоритмизация и программирование. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 200 с.

Тюльпинова Н. В. Технология алгоритмизации и программирования на языке Pascal. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 244 с.

Тюльпинова Н. В. Программный комплекс сквозной автоматизации имитационного моделирования бизнес-процессов // Наука Красноярья. – 2020. – Т. 9, № 1. – С. 184–198.

Тюльпинова Н. В., Ромашенкова А. А. Прогнозирование параметров качества процесса кислородной резки металла методами теории планирования // Современные материалы, техника и технологии. – 2020. – № 3 (30). – С. 71–77.

Холодов В. И. Планирование экспериментов в гидробиологических исследованиях. – Симферополь: Н. Оріанда, 2016. – 196 с.

Tyulpinova N. V. Methodology for introduction the environmental component into the structure and content of laboratory and practical classes of academic disciplines in programming for engineering profiles in technical university // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 208–215.

The regulatory framework of the national strategy of ecological education is described. The necessity of developing students' ability to assess the results and consequences of their activities from the point of view of non-inflation or minimization of harm to the environment is noted. Methodological and applied aspects of the formation of ecological culture of students in an interdisciplinary context are considered. The key role of programming in the organization of interdisciplinary connections between ecology, computer science and mathematics is noted. The link between programming and environmental experiment is revealed. The methodology of introducing an ecological component into the structure and content of laboratory and practical classes in the programming course is proposed. The emphasis is placed on the inclusion of students in cognitive research activities aimed at studying environmental problems and finding ways to solve them, on the transition from an explanatory and illustrative to an activity-based approach in teaching. An example of the design of an ecological application is presented. The corresponding program code and verification protocol are given. The pedagogical potential of programming in the fight against environmental ignorance and inability to see and feel the connection between one's well-being, health, safety and the processes taking place in the natural environment is indicated, since the basis of the universal culture of the third millennium is ecological culture and the view of oneself as the creator of a new ecological-like world based on interdisciplinary scientific knowledge.

Key words: ecology, programming, interdisciplinary communication, design of experiment.

Поступила в редакцию 02.12.22

Принята к печати 30.12.22

УДК: 576.3:591.88:57.087:599.323.4:57.084.1:539.1.047

Медико-экологические аспекты церебральных последствий радиационных аварий

Федоров В. П.

Воронежская государственная академия спорта
Воронеж, Россия
fedor.vp@mail.ru

У лиц, подвергшихся радиационному воздействию при аварии на Чернобыльской атомной электростанции, в последующем наблюдался рост частоты психоневрологических заболеваний, которые трудно поддавались лечению и сохранялись в течение всей жизни. Хотя в большинстве случаев нарушения имели пограничный характер, они значительно снижали качество жизни пострадавших и проявлялись когнитивными расстройствами, снижением работоспособности и ранним старением организма. Высокая медико-социальная значимость пограничных психоневрологических нарушений, развивающихся под влиянием малых радиационных воздействий, определяет актуальность выявления в центральной нервной системе соответствующих структурных изменений нервных клеток. Однако традиционные нейроморфологические и статистические методики не позволяют выявить среди множества стрессоров, присущих радиационным инцидентам, приоритетный фактор в поражении головного мозга и оценить роль аварийно повышенного радиационного фона в росте заболеваемости. Очевидно, что необходимо использовать новые методы исследования и в первую очередь экспериментальное и математическое моделирование.

Ключевые слова: радиозология, повышенный радиационный фон, головной мозг, пограничные психоневрологические расстройства, экспериментальное и математическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Чернобыльская радиационная катастрофа привела к существенным изменениям экологии, объектов живой природы и здоровья пострадавшего населения. Обширные территории страны оказались загрязненными радионуклидами, а проживающее на них население подверглось облучению в дозах, соответствующих критериям так называемых «малых» доз (Василенко, 1991; Ильин, 1991). Современные представления о влиянии ионизирующего излучения на организм учитывают принципы системного ответа клеток на повреждение радиационных мишеней и регуляции клеточного гомеостаза (Кудряшов, 2001). Считается, что радиационное воздействие в первую очередь приводит к нарушениям на молекулярном уровне. При этом физиологический уровень реакции организма на данное воздействие поддерживается системными репарациями. Большая часть повреждений восстанавливается, но, видимо, остается и какая-то не репарируемая часть, способная к накоплению повреждений (Василенко, 1991, 2006; Захарченко и др., 2003). С течением времени обеспокоенность в обществе, связанная с возможными последствиями радиационной катастрофы, не ослабевает. Это обусловлено ростом заболеваемости у облученных участников аварийно-спасательных работ по локализации последствий аварии на ЧАЭС.

Наиболее точно дозы облучения установлены для летчиков, выполнявших задачи по дезактивации четвертого энергоблока. Полеты над разрушенным реактором продолжались в течении десяти суток и далее, при этом дозы гамма-облучения у членов экипажей составляли в среднем $22,5 \pm 0,5$ сГр. Случаев лучевой болезни у них не установлено. Однако у целого ряда лиц, принимавших участие в локализации источника радиации, наблюдалась повышенная эмоциональная лабильность, раздражительность, быстрая утомляемость, головные боли, головокружение, внутреннее напряжение, нарушение сна, кошмарные сновидения, замкнутость, снижения памяти, нарушение концентрации внимания, снижение либидо, тревога и в ряде случаев депрессия. При полете над реактором 32 % летчиков отмечали «выраженную напряженность и волнение», 36 % – «металлический привкус во рту и

неприятный запах», 9 % – «повышение температуры», а 5 % – наблюдали изменение восприятия времени в виде его замедления. В большинстве случаев такие психоневрологические расстройства имели пограничный характер, но в ряде случаев принимали навязчивый характер и сохранялись в течении всей последующей жизни. Такие состояния значительно снижали качество жизни и проявлялись когнитивными расстройствами, снижением работоспособности, инвалидизацией и ранним старением организма (Шамрей и др., 2016; Ушаков, Федоров, 2018, 2021; Торубаров и др., 2019).

Несмотря на высокую медико-социальную значимость пограничных психоневрологических состояний, общепринятого мнения об этиологии и патогенезе расстройств как психического, так и соматического здоровья участников ликвидации последствий радиационной аварии и пострадавшего населения нет. Это связано с тем, что радиационно-индуцированные патологические нарушения, особенно в головном мозге, не всегда возможно отдифференцировать от проявлений радиофобии, психоэмоционального стресса, сопутствующих заболеваний, а также ложных рентных установок (Гуськова, 2001; Алексанин, 2008). Все это обуславливает актуальность выявления в центральной нервной системе соответствующих патогистологических эквивалентов. Однако экспериментальное исследование радиационных изменений в головном мозге на человеке в принципе невозможно, а имеющиеся единичные случаи его аварийного облучения, как правило, отягощены целым каскадом вторичных изменений, связанных с формированием лучевой болезни, лечебными и диагностическими процедурами, психоэмоциональным состоянием пострадавшего и др. В настоящее время для этого разработаны методологические основы экстраполяции результатов исследования с животных на человека (Даренская и др., 2010).

Цель настоящей работы – методами экспериментального и математического моделирования оценить роль аварийно-повышенного радиационного фона в формировании пограничных психоневрологических состояний у участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальной моделью служили белые беспородные крысы-самцы (*white mongrel rat*) с исходной массой 210 ± 10 г, подвергшиеся воздействию ионизирующего излучения в дозах, сопоставимых с полученными ликвидаторами последствий радиационной аварии (до 100 сГр). Исследовали изменения на протяжении всей последующей жизни таких животных. С соблюдением правил биоэтики в различные сроки после облучения извлекали различные структуры головного мозга (моторная и сенсорная зона коры, подкорковые ядра, мозжечок) и после стандартных нейроморфологических процедур изготавливали гистологические срезы. Традиционными методами окрашивания, выявляли нервные и глиальные клетки, содержание в них белка, ядерной ДНК, цитоплазматической и ядрышковой РНК. На криостатных срезах выявляли активность основных дегидрогеназ (СДГ, ЛДГ и Г-6-ФДГ) по общепринятым в гистохимии методикам. На гистологических срезах определяли количество нейронов с различной функциональной активностью (покой, возбуждение, торможение), а также с необратимыми изменениями в процентах от всей нейронной популяции. Морфометрические показатели нейронов и оптическую плотность конечных продуктов гистохимических реакций определяли с помощью компьютерной программы «Image J».

При анализе результатов измерений использовали параметрические методы статистики с вычислением средних и доверительных интервалов с помощью пакетов программ Statistica 6.1, MS Excel. Нулевая гипотеза отвергалась при $p < 0,05$ (t-критерий Стьюдента для парного сравнения независимых выборок между группами). Для установления приоритета среди воздействующих факторов (доза γ -облучения, прошедшее время) на динамику изменений состояния нейронов использовали регрессионный анализ. Математическую модель представляли уравнением регрессии: $ПНК = 0a + 1a\gamma + 2az + 3a\gamma z + 4a\gamma^2 + 5az^2 + 6a\gamma^3 + 7az^3$, где ПНК – рассматриваемый показатель нервной клетки, γ – доза ионизирующего излучения; z – время пострадиационного периода; xz – совместное влияние факторов; $\gamma^2, z^2, \gamma^3, z^3$ – нелинейное влияние факторов; $0a, 1a, 2a$ и так далее – соответствующие коэффициенты регрессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Облучение животных в дозах, эквивалентных регламентированным для ликвидаторов последствий радиационной аварии на ЧАЭС, значимых патоморфологических изменений в изученных отделах головного мозга не вызывало. Не установлена также дозовая или временная зависимость в диапазоне облучения в дозах от 0,1 до 1,0 Гр. Из диаграмм (рис. 1) следует, что возрастная перестройка нейронов моторной коры заключалась в снижении количества нервных клеток, находящихся в состоянии покоя за счет увеличения количества клеток в состоянии торможения функциональной активности. Просматривалась также тенденция к увеличению количества нервных клеток с альтеративными изменениями. В дальнейшем количество нейронов с обычной структурно-функциональной организацией статистически значимо снижалось, а количество клеток, находящихся в состоянии торможения функциональной активности, соответствовало возрастному контролю. Отмечалось также значимое увеличение количества нейронов, находящихся в состоянии возбуждения. При этом количество нейронов с признаками альтерации в ранние сроки пострадиационного периода превышало таковое у контрольных животных ($p < 0,05$), а к окончанию пострадиационного периода не отличалось от возрастного контроля.

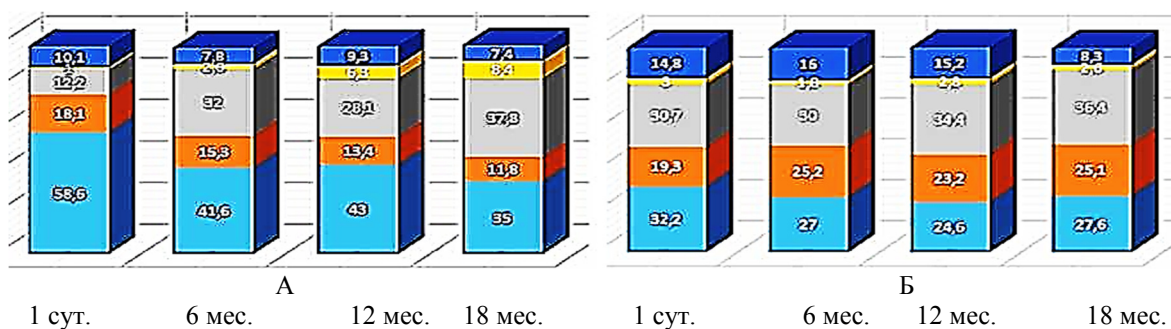


Рис. 1. Возрастная динамика функциональных типов нейронов двигательной зоны коры контрольных (А) и облученных (Б) животных в дозе 0,5 Гр

Обозначения на диаграммах снизу вверх: неизменные нейроны, нейроны в состоянии возбуждения, нейроны в состоянии торможения функциональной активности, деструктивные нейроны.

Из данных рисунка 2 следует, что в сенсорной зоне коры контрольных крыс после наблюдения в течение года уменьшалось количество нейронов с обычной структурно-функциональной организацией и увеличивалось количество нервных клеток, находящихся в состоянии торможения функциональной активности. Увеличивалось количество деструктивных нейронов, но в целом существенных изменений по отношению к контролю не наблюдалось.

В других структурах головного мозга также выявлялись незначимые изменения нейронов. Наибольшей лабильностью отличались показатели, отражающие функциональную активность нервных клеток, и менее заметно проявлялись признаки альтерации. Однако в отдельные сроки наблюдения изменения нейронов имели пограничный характер между нормой и патологией, что свидетельствовало о нарушении структурного постоянства нервных клеток и изменении их функциональной активности. Из приведенного выше следует, что патогистологические методы не выявляют в головном мозге вероятные структурные эквиваленты нарушений психоневрологического статуса ликвидаторов последствий радиационной аварии. В связи с этим с помощью математического моделирования оценен вклад каждого из воздействующих факторов (γ -облучение, время восстановления) в пострадиационные эффекты. Алгоритм моделирования показан на примере динамики нейронов с необратимыми изменениями (НКА).

В таблице 1 приведены числовые характеристики переменных: средние значения, 95% – доверительный интервал для средних значений, минимальные и максимальные значения,

размах, стандартные отклонения и ошибки, а также коэффициенты асимметрии и эксцесса, анализ которых свидетельствует, что все переменные имеют распределения близкие к нормальному и для этих данных возможно построение регрессионной модели.

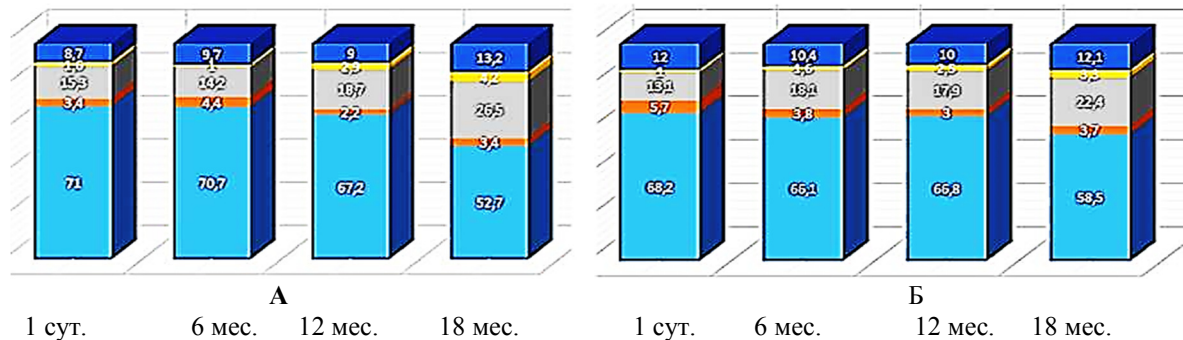


Рис. 2. Возрастная динамика функциональных типов нейронов сенсорной зоны коры контрольных (А) и облученных (Б) животных в дозе 0,5 Гр

Обозначения на диаграммах снизу вверх: неизменные нейроны, нейроны в состоянии возбуждения, нейроны в состоянии торможения функциональной активности, деструктивные нейроны.

Таблица 1

Числовые характеристики переменных

Показатель	Среднее	Доверительный интервал	Доверительный интервал 95%	Минимум +95%	Максимум	Размах	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка	Асимметрия	Эксцесс
Облучение, доля	0,251	0,178	0,323	0,000	1,000	1,000	0,391	0,037	0,414	0,042
Время, доля	0,324	0,254	0,394	0,001	1,000	0,999	0,377	0,035	0,757	-0,981
НКА, доля	0,493	0,459	0,526	0,133	1,000	0,867	0,179	0,017	0,512	0,462

Примечание к таблице. НКА – нейроны с необратимыми изменениями

Из данных таблицы 2 следует, что количество нейронов с альтерацией статистически значимо зависело от времени восстановления и совместного влияния времени и γ -облучения. Наиболее значительный вклад (снижало показатель НКА) вносило время восстановления, но совместное воздействие облучения и времени восстановления увеличивало количество нейронов с необратимыми изменениями.

Таблица 2

Зависимость количества нейронов с необратимыми изменениями от воздействия рассматриваемых факторов

	Коэффициент оценки	Стандартная ошибка	T-статистика	Коэффициент достоверности
Константа	0,569	0,019	30,132	$<1 \cdot 10^{-19}$
a_2	-0,293	0,045	-6,573	$<1 \cdot 10^{-19}$
a_3	0,166	0,063	2,614	0,0102

Воздействия таких факторов как мощность дозы облучения и время восстановления на изменения нейронов приемлемы: уровень значимости модели менее $<1 \cdot 10^{-19}$ при коэффициенте диагностической значимости $R^2=0,53$. Эти параметры и ряд других, характеризующих модель, показаны в таблице 3.

Уравнение регрессии, описывающее динамику воздействия изучаемых факторов на динамику изменений альтеративных нейронов имело вид: $HKA=0,569-0,293z+0,166yz$. Визуальная оценка зависимости количества нейронов с необратимыми изменениями от мощности дозы облучения и времени восстановительного периода представлена на трехмерном графике (рис. 4). Из графика следует, что максимальное значение НКА соответствовало минимальному значению времени восстановления и максимальному значению мощности дозы облучения. С увеличением времени восстановления и уменьшением мощности дозы облучения показатель НКА начинал снижаться.

Таблица 3

Оценка адекватности математической модели влияния параметров на динамику изменений альтеративных нейронов

	Сумма квадратов отклонений	Степени свободы	Средний квадрат	F-статистика	Коэффициент достоверности
Модель	28,752	3,000	9,584	411,208	$<1 \cdot 10^{-19}$
Остаток	2,587	111,000	0,023		
Модель с приведенной суммой	28,752	3,000	9,584	299,661	$<1 \cdot 10^{-19}$

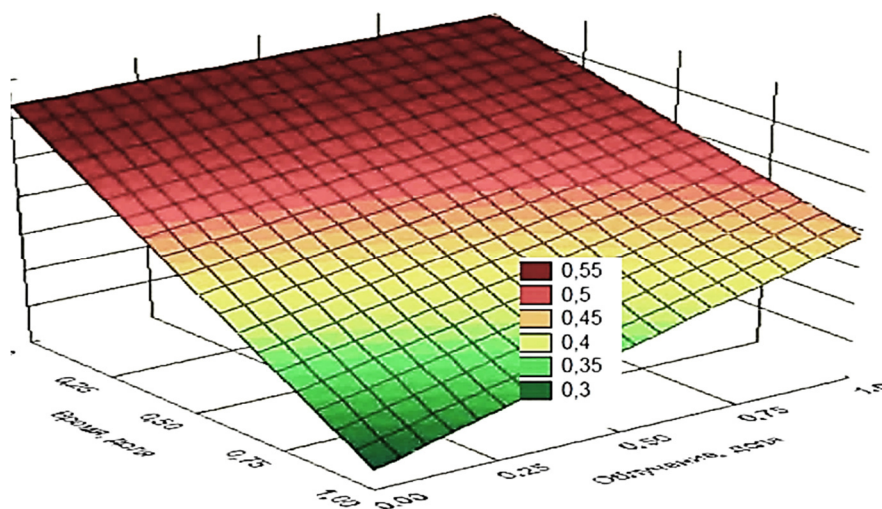


Рис. 4. Линейная зависимость количества нейронов с необратимыми изменениями от мощности дозы γ -облучения и времени восстановительного периода

По оси x отложено нормированное значение мощности дозы γ -облучения, по оси y – нормированное значение времени восстановления и по оси z – нормированные значения показателя количества нервных клеток с необратимыми изменениями.

Для нервных клеток без морфологических изменений (нормохромные, ННК) уравнение регрессии имеет вид: $HNK=0,634+0,174z-0,144y^2$. Коэффициент диагностической значимости модели средний ($R^2=0,49$), но корреляция аргументов с пострadiационным эффектом слабая ($r=0,24$). Из уравнения следует, что с увеличением мощности дозы радиационного воздействия количество неизмененных нейронов уменьшалось, в то время как с увеличением времени восстановительного периода показатель повышался.

Для нейронов с измененной функциональной активностью (ННФ) уравнение регрессии имеет вид: $ННФ=0,769+0,048z^2$. При этом диагностическая значимость модели была низкой ($R^2=0,23$), а корреляционная связь аргументов практически отсутствовала ($r=0,24$). Из уравнения следует, что время восстановительного периода имело более сильное влияние, чем мощность дозы γ -облучения, на динамику изменений рассматриваемого показателя.

Таким образом, радиационное воздействие вызывало отклик у нейронов головного мозга, но время восстановления вносило свои коррективы в наблюдаемые пострадиационные церебральные эффекты. Аналогично анализировали приоритет каждого воздействующего фактора в изменениях других нейроморфологических показателей, значения которых при традиционных методах патоморфологического исследования не имели статистически значимых отличий от возрастного контроля. Оказалось, что достаточно высокий отклик только на γ -облучение демонстрировали такие показатели состояния нейронов как: площадь перикариона, содержание ядерной ДНК, цитоплазматической и ядрышковой РНК. Только от времени восстановительного периода (возраста животного) зависели показатели: содержание общего белка в нейронах и внутриклеточные соотношения ядра и цитоплазмы.

Динамика изменений других показателей состояния нейронов зависела как от дозы облучения и времени восстановления, так и от совместного их воздействия. При этом один из воздействующих факторов имел приоритетное влияние на изменение соответствующего показателя. Так доза γ -облучения оказывала большее влияние, чем время восстановления, на такие показатели как: нервные клетки без морфологических изменений, нервные клетки с необратимыми изменениями, нервные клетки находящиеся в состоянии возбуждения или торможения функциональной активности, размеры ядра и ядрышка. В целом убедительных данных зависимости изменений нейронов как от рассмотренного диапазона доз радиационного воздействия, так и от мощности дозы γ -облучения в восстановительном периоде не установлено. Радиационно-индуцированные отклики нейронов со временем репарировались и пострадиационные изменения, как правило, соответствовали возрастному контролю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предшествующих наших публикациях по рассматриваемой проблеме достаточно подробно рассмотрена экологическая обстановка в зоне Чернобыльской катастрофы, профессиональная деятельность летного состава, дозы их облучения и состояние психоневрологического статуса как во время выполнения поставленных задач в очаге радиационного загрязнения, так и в течении всей последующей жизни (Мастрюков, Федоров, 2016; Федоров и др., 2016, Ушаков, Федоров, 2017, 2021; Асташова и др., 2019). Показано, что, несмотря на выраженные клинические проявления психоневрологических и соматических расстройств у облученных лиц, в нейронах различных отделов головного мозга отсутствовали функционально значимые патогистологические изменения в зависимости от дозы γ -облучения в диапазоне от 0,1 до 1 Гр, а также от мощности дозы радиационного воздействия в диапазоне от 0,5 до 6,6 Гр/ч (Ушаков, Федоров, 2015; Гундарова и др., 2021).

Данное исследование в целом подтвердило эти наблюдения, однако математическое моделирование изменило представление о роли такого важнейшего экологического фактора как аварийно повышенный радиационный фон в росте психоневрологических заболеваний после пребывания человека на радиационно-загрязненной территории. Проведенные исследования показали, что пострадиационные церебральные эффекты зависят не только от интенсивности радиационного воздействия, но и от продолжительности восстановительного периода. Радиационное воздействие вызывало отклик у большинства показателей функционального состояния нейронов, но в последующем они нивелировались. Возможно, что какая-то часть изменений сохранялась и со временем накапливалась, что и приводило к отдельным экстремумам. Такие флуктуации нейроморфологических показателей в отдельные доза-временные интервалы, хотя и имели стохастический характер, свидетельствовали о

нестабильности постоянства структурно-функциональной организации нервных клеток и изменении их функционального состояния. Таким образом, малые радиационные воздействия, даже в регламентированных дозах, способны вызывать в головном мозге структурно-функциональные изменения, проявляющиеся пограничными расстройствами здоровья у пострадавшего контингента.

Список литературы

- Александрин С. С. Патогенетические закономерности формирования соматической патологии после радиационных аварий в отдаленном периоде // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2008. – Т. 23, № 3. – С. 10–13.
- Асташова А. Н., Федоров В. П., Ушаков И. Б. Радиационные риски в авиации. История и современность / [Ред. И. Б. Ушакова]. – Воронеж: Научная книга, 2019. – 396 с.
- Василенко И. Я. Малые дозы ионизирующей радиации // Медицинская радиология. – 1991. – № 1. – С. 48–54.
- Василенко И. Я., Василенко О. И. Медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС: роль внутреннего облучения // Бюллетень по атомной энергии. – 2006. – № 4. – С. 65–70.
- Даренская Н. Г., Ушаков И. Б., Иванов И. В. От эксперимента на животных – к человеку: поиски и решения. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 237 с.
- Гундарова О. П., Федоров В. П., Кварацхелия А. Н. Мозжечок и радиация. – М.: Научная книга, 2021. – 312 с.
- Гуськова А. К. Радиация и мозг человека // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2001. – Т. 46, № 5. – С. 47–55.
- Захарченко М. П., Хавинсон В. Х., Оникиенко С. Б. Радиация, экология, здоровье. – СПб.: Гуманистика, 2003. – 330 с.
- Ильин Л. А. О некоторых итогах выполнения программы С 27 // Вестник АМН СССР. – 1991. – № 11. – С. 27–37.
- Кудряшов Ю. Б. Основные принципы в радиобиологии // Радиационная биология и радиоэкология. – 2001. – Т. 4, № 5. – С. 531–547.
- Мастрюков А. А., Федоров В. П. Ядерная катастрофа века: исторический очерк. – Воронеж: Научная книга, 2016. – 404 с.
- Торубаров Ф. С., Кулешова М. В., Лукьянова С. Н. Спектрально-корреляционный анализ ЭЭГ у ликвидаторов аварии на ЧАЭС с неврологическими нарушениями // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2019. – Т. 64, № 3. – С. 40–45.
- Ушаков И. Б., Давыдов Б. И., Солдатов С. К. Человек в небе Чернобыля: летчик и радиационная авария. – Ростов-на-Дону, 1994. – 168 с.
- Ушаков И. Б. и др. Квалиметрия жизни и отдаленные последствия Чернобыльской катастрофы. – М., 1999. – 123 с.
- Ушаков И. Б., Арлащенко Н. И., Солдатов С. К. Экология человека после Чернобыльской катастрофы: радиационный экологический стресс и здоровье человека. – Воронеж: ВГУ, 2001. – 723 с.
- Ушаков И. Б., Федоров В. П. Малые радиационные воздействия и мозг. – Воронеж: Научная книга, 2015. – 536 с.
- Ушаков И. Б., Федоров В. П. Воздействие факторов Чернобыльской аварии на психоневрологический статус ликвидаторов-вертолетчиков // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2018. – Т. 63, № 4. – С. 22–32.
- Ушаков И. Б., Федоров В. П. Радиационные риски вертолетчиков при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: ранние и отдаленные нарушения здоровья // Медицина катастроф. – 2021. – № 3. – С. 52–57.
- Федоров В. П., Терезанов О. Ю., Петров А. В. Радиоэкология и стадии реабилитации // Аллергология и иммунология. – 2007. – Т. 8, № 3. – С. 347–348.
- Федоров В. П., Ушаков И. Б., Федоров Н. В. Церебральные эффекты у ликвидаторов Чернобыльской аварии. – Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 390 с.
- Федоров В. П. Риск церебральных нарушений при пролонгированных малых радиационных воздействиях // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2018. – Т. 63, № 3. – С. 111–113.
- Федоров В. П., Ушаков И. Б., Асташова А. Н. Обоснование и разработка моделей для оценки церебральных последствий у летного состава после работ на радиоактивно загрязненной местности // Современные противоречия и направления развития авиационной и космической медицины: Материалы науч. конференции «Актуальные проблемы авиационной и космической медицины». СПб: ВМА, 2018. – С. 294–296.
- Федоров В. П., Холодов О. М. Математическое моделирование как неотъемлемый этап исследований церебральных пограничных состояний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 86–93.
- Шамрей В. К., Чистякова Е. И., Матыцина Е. Н. Радиационная психосоматическая болезнь у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2016. – № 1. – С. 21–34.

Fedorov V. P. Medico-ecological aspects of the cerebral consequences of radiation accidents // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 216–223.

Persons exposed to radiation during the accident at the Chernobyl nuclear power plant subsequently experienced a significant increase in psychoneurological diseases that were difficult to treat and persisted throughout their subsequent lives. Although in most cases the disorders were of a borderline nature, they significantly reduced the quality of life of the victims and were manifested by cognitive disorders, decreased performance and early aging of the body. The high medical and social significance of borderline psychoneurological disorders developing under the influence of low radiation exposure determines the relevance of identifying the corresponding structural changes in nerve cells in the central nervous system. However, traditional neuromorphological and statistical methods do not make it possible to identify among the many factors inherent in radiation incidents, the priority in brain damage and it is rather difficult to assess the role of increased background radiation in the increase in morbidity. It is quite obvious that it is necessary to use new research methods and, first of all, experimental and mathematical modeling.

Key words: ecology, radiation accident, increased radiation background, brain, borderline neuropsychiatric disorders, experimental and mathematical modeling.

*Поступила в редакцию 03.12.22
Принята к печати 15.02.23*

УДК 579.26

Микробиологические повреждения объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское» (Псковская область)

Хмелевская И. А.

*Псковский государственный университет
Псков, Россия
xmele@mail.ru*

В статье представлены результаты микробиологических исследований объектов культурного наследия «Государственного мемориального историко-литературного и природно-ландшафтного музея-заповедника А. С. Пушкина «Михайловское» (Псковская область). В ходе исследований проведено визуальное обследование исследуемых объектов, отмечена их различная степень разрушения в соответствии со шкалой Князевой (2005). Выявлены такие визуальные признаки биоповреждений как трещины в постаменте, отслоение поверхностного слоя, появление налетов рыжего и темно-зеленого цвета. Установлено, что различные объекты культурного наследия находятся на разной стадии разрушения (от 1 до 4), в целом, состояние большинства из них удовлетворительное. Выявлены объекты наиболее подверженные биоповреждениям (Бюст А. С. Пушкину, п. Пушкинские Горы, ул. Лермонтова; Бюст А. С. Пушкина, п. Пушкинские Горы, ул. Садовая). Определен и проанализирован общий количественный состав микрофлоры сыпучего материала и поверхности различных объектов исследования. Установлена прямая связь уровня бактериальной загрязненности и степени биоповреждений объектов культурного наследия. В работе также представлены результаты исследований на предмет присутствия на изучаемых объектах таких микроорганизмов, как тионовые и нитрифицирующие бактерии. Исследован посевной материал различных объектов культурного наследия, на всех исследованных участках выявлены тионовые бактерии по появлению в среде пленки, осадка или помутнения вследствие образования осадка серы. На большинстве объектов также установлено присутствие нитрифицирующих бактерий. Наличие тионовых и нитрифицирующих бактерий свидетельствует о возможности кислотной коррозии материалов и может привести к ускорению процесса разрушения объектов культурного наследия музея-заповедника «Михайловское».

Ключевые слова: биоповреждения, микрофлора, тионовые бактерии, нитрифицирующие бактерии.

ВВЕДЕНИЕ

Биоповреждения представляют собой изменения каких-либо материалов, вызванное жизнедеятельностью организмов. Проблеме биоповреждений посвящены ряд научных работ (Огарков, 2002; Пехташева, 2002; Шаповалов, 2003; Петушкова, 2005), среди которых особый интерес представляют микробиологические исследования объектов культурного наследия, связанных с изучением геохимической деятельности микроорганизмов и их ферментативной активности в каменной кладке и настенных росписях в исторических зданиях, музеях, церквях и монастырях, на поверхности мрамора и бронзы скульптур (Огарков, 2002; Петушкова, 2005).

Возможности бактерий как агентов биоповреждений связаны со способностью различных систематических групп бактерий использовать разные источники энергии, доноры электронов и источники углерода. Многие бактерии, участвующие в коррозии строительных материалов, являются хемолитотрофами (например, нитрифицирующие). В большинстве случаев разрушение микроорганизмами объектов культурного наследия происходит под действием не одной какой-либо группы, а является следствием комплексного воздействия сформированного микробиоценоза, в котором одна группа микроорганизмов формирует субстрат для другой группы.

С позиции экологии важна оценка биоповреждений различных материалов скульптур, исторических зданий, церквей и монастырей с точки зрения их устойчивости к биологическому воздействию, а также оценка возможности защиты этих материалов.

Цель работы – провести анализ микробиологических повреждений объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское» (Псковская область).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории Государственного мемориального историко-литературного и природно-ландшафтного музея-заповедника А. С. Пушкина «Михайловское» и его окрестностях: в поселке Пушкинские Горы, в селах Петровское и Михайловское и деревни Савкино (Псковская область).

Для оценки микробиологических повреждений объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское» проводили их визуальное обследование, устанавливали общий количественный состав микрофлоры сыпучего материала (поверхности) различных объектов, а также определяли наличие тионовых и нитрифицирующих бактерий на исследуемых объектах.

Для идентификации биоповреждений по визуальным признакам использовали шкалу Князевой (Князева, 2005).

Материалы для определения общего количества бактерий были взяты с объектов исследования двумя способами: в виде сыпучего материала при помощи кисточки и с поверхности (1 дм²) при помощи ватных палочек, смоченных стерильной дистиллированной водой. Объекты, с которых был взят сыпучий материал: Монастырская стена Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря (рис. 1), Грот-беседка (с. Петровское) (рис. 2), Каменный диван (с. Михайловское) (рис. 3), Каменный крест на Савкиной горке (д. Савкино) (рис. 4). Объекты, материал с которых был взят с поверхности: Бюст А.С.Пушкина (п. Пушкинские Горы, ул. Садовая) (рис. 5), Памятник А.С.Пушкину (п. Пушкинские Горы, близ Святогорского монастыря) (рис. 5), Бюст А.С.Пушкина (п. Пушкинские Горы, ул.Лермонтова) (рис. 6), Памятник А.П.Ганнибалу (с. Петровское) (рис. 7), Скульптура «Пушкин-лицеист» (с. Михайловское) (рис. 8), Культовый камень-следовик (с Михайловское) (рис. 9).

Сыпучий материал массой 1 г измельчали в стерильной ступке и переносили во флакон с 10 мл стерильного физиологического раствора. 1 мл полученной суспензии помещали путём прямого посева в питательный агар, распределяя равномерно по поверхности агара стерильным шпателем для полного распределения образца. Определение количественного состава бактерий проводилось путем прямого подсчета на чашках Петри.

Для определения тионовых бактерий использовали среду Бейеринка (г/л): Na₂SO₄ - 5,0; NH₄Cl - 0,1; NaHCO₃ - 0,1; Na₂HPO₄•2H₂O - 2,0; MgCl₂•6H₂O - 0,1; FeSO₄•2H₂O - следы; стерильная вода. Исходную суспензию засекали в готовую среду. При наличии тионовых бактерий в посевном материале среда мутнеет через 2–3 дня, и на ее поверхности появляется пленка молекулярной серы, которая образуется при окислении тиосульфата.

Характер развития бактерий оценивался условно по образованию пленки, осадка или помутнению вследствие образования серы по следующей шкале:

1. Слабая степень образования серы – среда мутная, без осадка.
2. Средняя степень образования серы – среда мутная, с осадком.
3. Сильная степень образования серы – среда мутная, с хорошо выраженным осадком

и образованием заметной пленки.

Для определения нитрифицирующих бактерий использовали среду Виноградского следующего состава (г/л): (NH₄)₂SO₄ - 1,0; K₂HPO₄ - 0,5; MgSO₄•7H₂O - 0,2; FeSO₄•7H₂O - 0,2; NaCl - 1,0; стерильная вода. Инкубацию посевов проводили при 28-30°C три недели.

Выявление нитратов проводили с помощью дифениламина. Присутствие нитратов вызывает интенсивное синее окрашивание.



Рис. 1. Монастырская стена Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря



Рис. 2. Грот-беседка в селе Петровское



Рис. 3. Каменный диван в селе Михайловское



Рис. 4. Каменный крест на Савкиной горке



Рис. 5. Бюст А. С. Пушкина, (п. Пушкинские Горы, ул. Садовая) и памятник А. С. Пушкину (п. Пушкинские Горы, окрестности Святогорского монастыря)



Рис. 6. Бюст А. С Пушкину (п. Пушкинские Горы, ул. Лермонтова)



Рис. 7. Памятник А.П. Ганнибалу (с. Петровское)



Рис. 8. Скульптура «Пушкин-лицеист» в селе Михайловское



Рис. 9. Культурный камень-следовик в деревне Савкино

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микроорганизмы оказывают комплексное воздействие на объекты культурного наследия, причиной которого могут быть различные нарушения в экосистеме. Характеристиками данного воздействия являются внешние признаки, проявляющиеся в виде трещин, пятен, налетов и др. Нами были обследованы различные объекты культурного наследия на территории «Государственного мемориального историко-литературного и природно-ландшафтного музея-заповедника А. С. Пушкина «Михайловское» на предмет

биоповреждений по различным визуальным признакам и определены характерные проявления стадий развития этих повреждений (табл. 1).

Как следует из табл. 1, большинство изученных объектов подвержено коррозии и находятся в разной степени разрушения, что может быть вызвано антропогенными, климатическими факторами, так и жизнедеятельностью организмов, в том числе и микроорганизмов (бактерий, грибов). Растрескивание, появление в трещинах растительности, отслоение поверхностного слоя — все эти визуальные признаки, наблюдаемые на строительных камнях, свидетельствуют о 3 или 4 стадии биоповреждений. Так, зарастание лишайниками, мхами отмечено на Каменном диване, Каменном кресте и культовом Камне-следовике, а также повсеместно на монастырской стене Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря.

Таблица 1

Результаты визуального обследования объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское»

№	Объект исследований	Стадия	Описание повреждений
1.	Бюст А. С. Пушкина, ул. Садовая	4а	Отслоение поверхностной корки, наблюдается нарушение целостности поверхности в виде сыпучих веществ, заметная шероховатость, появление ярко-оранжевых пятен, трещины в конструкции
2.	Монастырская стена Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря	3б	Отмечено зарастание стены, имеются повреждения в виде сыпучих и порошащих веществ, появление налёта зелёного и рыжего цвета, отслоение поверхностных корок
3.	Памятник А. С. Пушкину (близ Святогорского монастыря)	3б	Отмечено появление налёта рыжего, зелёного и красного цвета, пятна, трещины в поверхностной корке
4.	Бюст А. С. Пушкину, ул. Лермонтова	4а	Многочисленные трещины в постаменте, налёт рыжего цвета и тёмно-зелёного цвета, отслоение поверхностного слоя
5.	Грот-беседка, с. Петровское	2б	Отмечено появление рыжего налёта и зелёных растительных наростов, образование микротрещин, нарушение поверхности в виде сыпучих и порошащих веществ, шероховатость некоторых участков
6.	Памятник А.П. Ганнибалу, с. Петровское	2а	Отмечено появление серого и зелёного налёта, а также небольшое отслоение поверхностной корки на некоторых фрагментах памятника
7.	Скульптура «Пушкин-лицеист» с. Михайловское	2б	Отмечено появление микротрещин рыжего, серого и зелёного налёта, а также процесс коррозии металла на небольших участках памятника
8.	Каменный диван в с. Михайловское	3а	Образование крупных трещин и микротрещин, зелёных наростов мха и лишайника, а также беловатого и рыжего налёта в некоторых участках.
9.	Каменный крест на Савкиной горке, д. Савкино	3а	Отслоение фрагментов постамента и креста, наросты мхов и лишайников, трещины по поверхности камня, рыжий и светло-зелёный налёт на некоторых участках, имеются признаки повреждения в виде порошащих веществ
10.	Культовый камень-следовик, д. Савкино	3а	Мхи и лишайники, образование крупных трещин и отслоение кусков камня, очаги белого налёта на поверхности, а также небольшие очаги зеленоватого и рыжеватого налёта

Наибольшими биоповреждениями характеризуются бюсты А. С. Пушкина на ул. Садовой и ул. Лермонтова (стадия 4а). Слабая степень повреждений отмечена для таких объектов как памятник Ганнибалу, скульптура «Пушкин-лицеист» и грот-беседка в селе Петровское (стадии 2а–2б). Возможно, это связано с тем, что материал, из которого изготовлены памятники (гранит, базальт и другие), является более прочным, химически инертным и не разрушается под действием продуктов жизнедеятельности бактерий.

Несмотря на ряд визуальных признаков, свидетельствующих о биоповреждениях, в целом, можно сказать, что большинство объектов культурного наследия на территории заповедника находятся в удовлетворительном состоянии.

Показатели количественного состава микрофлоры сыпучего материала (поверхности) различных объектов культурного наследия Пушкиногорского архитектурно-природного музея-заповедника представлены в таблице 2.

Таблица 2

Количественный состав микрофлоры сыпучего материала (поверхности) объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское»

№	Объект исследований	Число бактерий ×10 ³ /дм ² поверхности
1	Бюст А. С. Пушкина, ул. Садовая	0,3
2	Монастырская стена Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря	1,1
3	Памятник А. С. Пушкину (близ Святогорского монастыря)	1,0
4	Бюст А. С. Пушкину, ул. Лермонтова	4,4
5	Грот-беседка, с. Петровское	4,5
6	Памятник А. П. Ганнибалу, с. Петровское	0,7
7	Скульптура «Пушкин-лицеист» с. Михайловское	0,2
8	Каменный диван в с. Михайловское	5,2
9	Каменный крест на Савкиной горке	5,0
10	Культовый камень-следовик, д. Савкино	5,3

Наибольшее число бактерий на 1 дм² поверхности ($5,0 \cdot 10^3$ – $5,3 \cdot 10^3$) отмечено на трёх объектах: Каменный диван в с. Михайловское, каменный крест на Савкиной горке, Культный камень-следовик. Наименьшая бактериальная загрязненность отмечена на участках: бюст А. С. Пушкина, скульптура «Пушкин-лицеист», Памятник А. П. Ганнибалу. Следует отметить, что это связано с ежегодной обработкой этих объектов антибактериальными препаратами.

Биоразрушения часто связаны с деятельностью тионовых бактерий, которые способны окислять соединения серы до сульфатов. Под влиянием тионовых бактерий может происходить разрушение каменных, металлических, бетонных и прочих сооружений. Анализ сыпучего материала (поверхности) объектов культурного наследия на присутствие тионовых бактерий (табл. 3) показал, что в большинстве изученных случаев в среде Бейеринка наблюдается средняя степень образования пленки серы. Появление осадка серы и помутнение среды Бейеринка в той или иной степени (в том числе и в среде с разведением в 10 раз) свидетельствуют о присутствии на изучаемых памятниках культуры тионовых бактерий, которые могут вызывать разрушение исследуемых объектов. В аэробных условиях тионовые бактерии продуцируют серную кислоту, которая вызывает кислотную коррозию строительных материалов, растворение карбонатных пород, и, как следствие, вызывает растрескивание мраморных плит и других материалов. Наиболее значительным количеством тионовых бактерий характеризуется Культный камень-следовик и скульптура «Пушкин-лицеист».

Важным показателем биоразрушений является наличие нитрифицирующих бактерий. Это широко распространенная в природе группа бактерий, которые окисляют аммиак или нитриты до нитратов, и способные спровоцировать кислотную коррозию различных материалов. Как показали результаты исследования, нитрифицирующие бактерии были обнаружены на большинстве объектов исследования (табл. 4).

Таблица 3

Степень образования пленки серы в пробах сыпучего материала (поверхности) объектов культурного наследия музея-заповедника «Михайловское»

№	Объект исследований	Без разведения	Разведение 10 ⁻¹
1	Бюст А.С. Пушкина, ул. Садовая	Слабая	Слабая
2	Монастырская стена Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря	Средняя	Средняя
3	Памятник А.С. Пушкину (близ Святогорского монастыря)	Средняя	Средняя
4	Бюст А.С. Пушкину, ул. Лермонтова	Средняя	Слабая
5	Грот-беседка, с. Петровское	Средняя	Средняя
6	Памятник А.П. Ганнибалу, с. Петровское	Средняя	Слабая
7	Скульптура «Пушкин-лицеист» с. Михайловское	Сильная	Средняя
8	Каменный диван в с. Михайловское	Средняя	Слабая
9	Каменный крест на Савкиной горке	Слабая	Слабая
10	Культовый камень-следовик, д. Савкино	Сильная	Сильная

Таблица 4

Наличие нитрифицирующих бактерий в сыпучем материале (поверхности) объектов культурного наследия музея-заповедника «Михайловское»

№	Объект исследований	Без разведения	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³
1	Бюст А.С. Пушкина, ул. Садовая	+	+	+	+
2	Монастырская стена Свято-Успенского Святогорского мужского монастыря	+	+	+	+
3	Памятник А.С. Пушкину (близ Святогорского монастыря)	+	+	+	+
4	Бюст А.С. Пушкину, ул. Лермонтова	+	+	+	+
5	Грот-беседка, с. Петровское	+			
6	Памятник А.П. Ганнибалу, с. Петровское	+	+	+	+
7	Скульптура «Пушкин-лицеист» с. Михайловское				
8	Каменный диван в с. Михайловское	+			
9	Каменный крест на Савкиной горке	+	+	+	+
10	Культовый камень-следовик, д. Савкино	+	+	+	+

Примечание к таблице: Наличие нитрифицирующих бактерий в таблице отмечено знаком «+».

Приведенные данные показывают наличие данных бактерий как в исходной суспензии, так и в средах с разведением в 10–1000 раз. Исключением является скульптура «Пушкин-лицеист», что, возможно, связано с большей степенью ухода за памятником (см. выше).

Наличие нитрифицирующих бактерий практически на всех объектах свидетельствует об образовании агрессивного химического агента – азотной кислоты, что может привести к ускорению разрушения объектов культурного наследия музея-заповедника «Михайловское».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Визуальное обследование объектов культурного наследия музея-заповедника «Михайловское» показало, что большинство объектов культурного наследия подвержено коррозии и находятся в разной степени разрушения, однако, в целом, состояние большинства из них удовлетворительное.

Количественный состав микрофлоры на исследованных участках варьирует от $0,2 \cdot 10^3$ до $5,3 \cdot 10^3$ на 1 дм^2 поверхности. Показатели бактериальной загрязненности сыпучего материала (поверхности) различных объектов культурного наследия коррелируют со степенью их биоповреждений.

Присутствие тионовых и нитрифицирующих бактерий на всех участках свидетельствует о возможности кислотной коррозии материалов, что может привести к ускорению процесса разрушения объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское».

Список литературы

- Князева В. П. Экология. Основы реставрации. – М., 2005. – 400 с.
Огарков Б. Л. Методы микробиологических исследований биоповреждений гражданских объектов и памятников архитектуры // Материалы рос. науч.- практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. Е. В. Талалаева, 11-13 марта 2002 г. – Иркутск., 2002. – С. 219–223.
Петушкова Ю. А. Методологические аспекты исследования микробиоты памятников истории и культуры: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., 2005. – 28 с.
Пехташева Е. Л. Биоповреждение и защита непродовольственных товаров. – М.: Мастерство, 2002. – 220 с.
Шаповалов И. В. Биоповреждение строительных материалов плесневыми грибами. – Белгород, 2003. – 149 с.

Khmelevskaya I. A. Microbiological damage to cultural heritage objects on the territory of the Mikhailovskoye Museum-Reserve (Pskov Region) // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 224–233.

The biochemical activity of microorganisms, together with anthropogenic factors, often causes the destruction of building materials, masonry of historical buildings, churches, as well as marble and bronze coatings of monuments. This work is devoted to microbiological studies of cultural heritage objects of the State Memorial Historical, Literary and Natural Landscape Museum-Reserve of A. S. Pushkin “Mikhailovskoye” (Pskov region). In the course of the research, a visual examination of the objects under study was carried out, their various degrees of destruction were noted in accordance with the Knyazeva scale (2005). The general quantitative composition of the microflora of bulk material and the surface of various objects of study was determined and analyzed. The relationship between the level of bacterial contamination and the degree of biodamage of cultural heritage objects has been established. The paper also presents the results of studies on the presence of microorganisms such as thionic and nitrifying bacteria on the studied objects. In all areas, thionic and nitrifying bacteria were found, which indicates the possibility of acid corrosion of materials and the acceleration of the process of destruction of cultural heritage objects of the Mikhailovskoye Museum-Reserve. The objects most susceptible to biodamage were identified.

Key words: biodamages, microflora, thionic bacteria, nitrifying bacteria.

Поступила в редакцию 15.11.22

Принята к печати 15.02.23

УДК 502/504

Оценка экологического состояния водных объектов вблизи полигона твердых коммунальных отходов (поселок Кашхатау, Кабардино-Балкарская Республика)

Хучунаева Л. В.

*Высокогорный геофизический институт
Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия
Buzgigit@mail.ru*

В работе для оперативной оценки качества воды в водных объектах вблизи полигона захоронения отходов «Полигон ТКО вблизи поселка Кашхатау Кабардино-Балкарской республики» был применен метод «Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения)» совместно с анализом состояния донных отложений. Выявлен высокий уровень хронического загрязнения водного объекта по свинцу, цинку, марганцу, никелю, меди. Оценка загрязненности донных отложений проводилась на основе сравнения концентрации каждого из загрязняющих веществ в пробах донных отложений, отобранных в створах наблюдений и в фоновом створе, при условии идентичности типов донных отложений в абсолютной форме в виде коэффициентов загрязнения, факторов загрязнения, представляющих обнаруженной концентрации к фоновой. В качестве фоновой использовались измеренные значения загрязняющих веществ в водном объекте до полигона твердых коммунальных отходов (ТКО). Загрязнение донных отложений и водного объекта происходит в результате техногенных факторов. Коэффициент донной аккумуляции (КДА) ниже полигона ТКО (вдоль тела свалки) в 0,75–2,0 раз выше, чем КДА до полигона ТКО (фоновая). Определение уровня загрязненности поверхностных вод возле полигона ТКО показало, что водные объекты имеют высокий уровень и устойчивый высокий уровень превышения ПДК по некоторым гидрохимическим показателям. Для оперативной оценки состояния водных объектов рекомендуется воспользоваться методикой «Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения)» с дополнительным анализом донных отложений с определением коэффициента донной аккумуляции.

Ключевые слова: полигоны ТКО, загрязнение, водные объекты, ПДК, коэффициент донной аккумуляции, хронические загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема загрязнения рек и других естественных водоемов остается достаточно актуальной задачей. Это связано с тем, что многие заболевания людей, проживающих в экологически неблагоприятных регионах, вызвано некачественным, антисанитарным состоянием воды (Мажайский, Гусева, 2017; Жукова, 2018). Основными источниками загрязнения водных объектов являются промышленные предприятия, осуществляющие сброс неочищенных стоков в природные воды (Шавшина, 2018.; Быкова, 2002). Сточные воды значительно снижают биосферные функции воды. Большую опасность для природных вод представляют несанкционированные полигоны, твердые коммунальные отходы, (Илюшин, 2011; Белюченко, 2017; Ткаченко, Гладких, 2017). Поэтому оценка экологической опасности (ЭО) и экологического риска (ЭР) является основной задачей при исследовании воздействия на окружающую среду полигонов ТКО. Методические основы таких исследований не до конца разработаны. Оценка ЭР затруднена, так как связана с экономической неопределенностью. Что касается ЭО, оценка связана с угрозой деградации водного объекта вследствие его загрязнения, является более конкретной задачей, которая может быть решена на основе использования данных о загрязнении водного объекта. Целью исследования: является оценка экологического состояния водных объектов, находящихся в зоне потенциального воздействия несанкционированных полигонов ТКО на примере полигона ТКО вблизи поселка Кашхатау Кабардино-Балкарской Республики.

Цель наших исследований – оценить экологическое состояние водных объектов в бассейне реки Черек вблизи полигона твердых коммунальных отходов на примере Полигона ТКО вблизи поселка Кашхатау Кабардино-Балкарской Республики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – воды реки Черек на участке, расположенного до полигона ТКО и после. Исследовалась гидрологическая сеть участка реки Черек, протекающей в 400 м к юго-востоку от полигона ТКО, и безымянного ручья, протекающего непосредственно вдоль восточной окраины участка и впадающего в реку Черек. Исток ручья расположен на склонах Лесистого хребта на высоте 1050 м, длина его 2,7 км, площадь водосбора 1,75 км². Уклон русла по карте высот составляет 122 ‰. Ширина ручья на момент исследования 0,7–1,0 м, глубина 0,2 м, скорость течения 0,6 м/с, расход воды около 100 л/с.

Для оценки уровня загрязнения среды отбирали пробы воды и затем, в условиях лаборатории, определяли концентрацию загрязняющих веществ в водном объекте. Для анализа массива гидрохимических данных использовали интегральные оценки и индексы, в частности, удельный комбинаторный индекс загрязненности (УКИЗВ).

Как известно, существующие методы интегральной оценки загрязненности суточных вод трудно применимы к воде из водных объектов вблизи полигонов (Zubarev, 2014). В первую очередь, это связано с высоким уровнем загрязненности вод по многим показателям и вариабельностью показателей содержания отдельных загрязнителей (Drovovozova et al., 2019). Для оценки загрязнения водных объектов вблизи полигонов ТКО нами был использован метод «Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения) (Рекомендации..., 2011)» с дополнительным анализом донных отложений.

В этой методике уровень токсического загрязнения ранжирован на 5 классов качества воды (КВ):

ранг «условно нетоксичная» соответствует классу качества воды «условно чистая»,

ранг «слабо токсичная» – классу КВ «слабо загрязненная»,

ранг «умеренно токсичная» – классу КВ «загрязненная»,

ранг «высокотоксичная» – классу КВ «грязная»,

ранг «чрезвычайно токсичная» – классу КВ «экстремально грязная».

Критерии оценки токсичного загрязнения водных экосистем по химическим показателям с учетом класса опасности загрязняющих веществ с некоторыми изменениями представлены в таблице 1.

Таблица 1

Критерии оценки токсичного загрязнения водных экосистем по химическим показателям с учетом класса опасности загрязняющих веществ (Рекомендации..., 2011 с изменениями)

Уровень токсического загрязнения воды (класс качества воды)	Превышение ПДК
Условно нетоксичная (условно чистая)	Сумма ЗВ 1 - 2 КО не превышает ПДК; сумма всех ЗВ не превышает ПДК
Слабо токсичная (слабо загрязненная)	Сумма ЗВ 1 - 2 КО не превышает ПДК; сумма ЗВ 3 - 4 КО от 1 до 2 ПДК; сумма всех ЗВ не более 1 ПДК
Умеренно токсичная (загрязненная)	Сумма ЗВ 1 - 2 КО от 1 до 2 ПДК; сумма ЗВ 3 - 4 КО до 10 ПДК
Высоко токсичная (грязная)	Сумма ЗВ 1 - 2 КО от 3 до 5 ПДК; сумма ЗВ 3 - 4 КО от 10 до 50 ПДК

Подробное изложение методики оценки загрязнения донных отложений приводится ниже в соответствующем подразделе работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 приводят результаты анализа воды из ручья до полигона ТКО и после полигона

Таблица 2

Результаты анализа воды из ручья до полигона ТКО и после полигона

№ п/п	Определяемые показатели	Результаты исследований (ниже полигона)	Результаты исследований (выше полигона)	Гигиенический норматив	Класс опасности	Превышения ПДК (ниже полигона)	Превышения ПДК (до полигона)
1	Свинец	менее 0,002	менее 0,002	0,01	2	0,2	0,2
2	Кадмий	менее 0,0002	менее 0,0002	0,001	2	0,2	0,2
3	Цинк	менее 0,005	менее 0,005	0,01	3	0,5	0,5
4	Медь	0,0045	0,0017	0,001	3	4,5	1,64
5	Никель	менее 0,005	менее 0,005	0,01	2	0,5	0,5
6	Марганец	0,0062	0,0067	0,01	3	0,6	0,67
7	Кальций	120,24	100,24	180	4	0,7	0,55
8	Магний	26,8	21,5	50	3	0,54	0,43
9	Хлориды	560,0	370,0	350	4	1,6	1,05
10	Сульфаты	192,1	160,1	500	4	0,38	0,32
Суммарный						9,72	6,06

В соответствии с данными таблицы 2 вода в ручье до и после полигона относится к умеренно токсичной (загрязненной).

Экологическое состояние реки Черек в районе ТКО. Река Черек – крупный правый приток реки Баксана. Общая протяженность реки Черек – 131 км. Река Черек образуется от слияния у села Бабугент двух рек: Черка Безенгийского (51 км) и Черка Балкарского (54 км), имеющих примерно одинаковые площади водосбора: Черек – Безенгийский – 627 км², Черек Балкарский – 701 км².

В формировании водного стока реки Черек основную роль играют ледниковые (36 %), грунтовые (35 %) и дождевые (27 %) воды.

Для оценки влияния полигона ТКО на загрязнение ручья были отобраны и проанализированы пробы воды из ручья до полигона и после, были анализированы пробы воды из реки Черек, отбор проб производился на расстоянии 500 метров вверх и вниз от места впадения ручья.

Результаты анализов приводятся в таблице 3.

Как видно из данных таблицы 3, химическое загрязнение реки Черек за исключением одного показателя ХПК (потребление кислорода) не превышает допустимых норм. Повышенное значение ХПК не связано с полигоном ТКО, так как точка отбора пробы находилась на 500 метров выше по течению реки.

При оценке экологического состояния поверхностных вод важное значение имеет изменчивость загрязнения водного объекта. Обеспечить непрерывный отбор проб воды технически и материально затруднительно.

Но важная информация содержится о загрязнении водного объекта в донных отложениях, совместное использование его с выше приведенной оценкой позволяет более корректно оценить состояние данного объекта.

Содержание химических загрязнителей в водах реки Черек, 500 метров выше и ниже полигона ТКО

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты измерений на расстоянии 500 м выше полигона ТКО	Результаты измерений на расстоянии 500 м ниже полигона ТКО	Гигиенический норматив
1	Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	1,40 ± 0,28	0,90 ± 0,18	не более 7
2	Массовая концентрация железа	мг/дм ³	менее 0,05	менее 0,05	не более 0,3
3	Фенол	мг/л	менее 0,002	менее 0,002	0,001
4	Никель	мг/дм ³	менее 0,005	менее 0,005	не более 0,02
5	Хром (6+)	мг/дм ³	менее 0,05	менее 0,05	не более 0,05
6	Сульфаты	мг/дм ³	94,90 ± 9,49	86,60 ± 8,66	не более 500
7	рН	единицы рН	8	8,1	от 6 до 9
8	Гидрокарбонаты	мг/дм ³	122,00 ± 14,64	146,00 ± 17,52	не нормируется
9	Массовая концентрация взвешенных веществ	мг/дм ³	менее 3	менее 3	не нормируется
10	БПК ₅	мг О ₂ /дм ³	0,800 ± 0,112	0,600 ± 0,084	не более 4
11	Кислород растворенный	мг/дм ³	9,700 ± 1,358	10,0 ± 1,4	не менее 4
12	Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм ³	224,00 ± 42,56	204,00 ± 38,76	не более 1500
13	ХПК (химическое потребление кислорода)	мг/дм ³	38,50 ± 11,55	менее 10	30
14	Нитриты (по N02)	мг/дм ³	менее 0,2	менее 0,2	не более 3
15	Литий	мг/дм ³	менее 0,015	менее 0,015	не более 0,03
16	Нефтепродукты (суммарно)	мг/дм ³	менее 0,005	менее 0,005	не более 0,1
17	Аммиак	мг/дм ³	менее 0,5	менее 0,5	не более 1,5
18	Барий	мг/дм ³	менее 0,5	менее 0,1	не более 0,7
19	ПАВанионоактивные	мг/дм ³	менее 0,01	менее 0,01	не более 0,5
20	Фосфаты	мг/дм ³	менее 0,25	менее 0,25	не более 3,5
21	Мышьяк	мг/дм ³	менее 0,001	менее 0,001	не более 0,01
22	Кадмий	мг/дм ³	менее 0,0005	менее 0,0005	не более 0,001
23	Ртуть	мг/дм ³	менее 0,0005	менее 0,0005	не более 0,0005
24	Медь	мг/дм ³	менее 0,0005	0,003100 ± 0,000775	не более 1

Состояние донных отложений. Донные отложения представляют собой сложную многокомпонентную систему и играют чрезвычайно важную роль в формировании гидрохимического режима водных масс и функционировании экосистем водоемов и водотоков. Они активно участвуют внутри водоемном круговороте веществ и энергии и являются средой обитания многочисленных групп животных организмов – бентоса. (Техногенное загрязнение..., 2002)

Оценка загрязненности донных отложений проводится на основе сравнения концентрации каждого из загрязняющих веществ в пробах донных отложений, отобранных в створах наблюдений и в фоновом створе, при условии идентичности типов донных отложений в абсолютной форме в виде коэффициентов загрязнения, факторов загрязнения,

представляющих обнаруженной концентрации к фоновой.

Коэффициент донной аккумуляции (КДА) рассчитывался по формуле:

$$\text{КДА} = \text{Сдо} / \text{Свода},$$

где: Сдо – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг/кг или мкг/кг;
Свода – концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этом же створе, мг/л или мкг/л.

Результаты оценки загрязнения донных отложений, исследованных участков, представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях ниже и выше участка твердых коммунальных отходов

№	Определяемые показатели	Единица измерения	Выше полигона ТКО	Ниже полигона ТКО	Отношение к фону
1	Свинец	мг/кг	8,1±2,3	9,1±2,6	1,12
2	Кадмий	мг/кг	<0,10	<0,10	1
3	Цинк	мг/кг	38,2±10,7	72,4±20,3	1,9
4	Медь	мг/кг	3,22±0,9	3,14±0,88	0,71
5	Никель	мг/кг	2,88±0,81	2,76±0,8	1,03
6	Марганец	мг/кг	85,6±24,0	42,7±1,0	2,00

Таблица 5

Коэффициент аккумуляции донных отложений в ручье выше и ниже твердых коммунальных отходов

№	Металл	КДА проба 1 (выше полигона)	КДА проба 2 (ниже полигона)	КДА1/КДА2	Уровень загрязнения
1	Свинец	4050	4550	1,12	Высокий уровень хронического загрязнения водного объекта
2	Кадмий	500	500	1	Удовлетворительное загрязнение
3	Цинк	7640	14480	1,89	Высокий уровень хронического загрязнения
4	Медь	3140	2220	0,71	Высокий уровень хронического загрязнения
5	Никель	555	576	1,03	Удовлетворительное загрязнение
6	Марганец	6887	13806	2,00	Высокий уровень хронического загрязнения водного объекта

Величины КДА, равные $n \times 10$ (где $n=1$ до 9), при низких концентрациях загрязняющих веществ в воде и донных отложениях обычно характеризует обстановку в водном объекте как относительно удовлетворительную (без признаков хронического загрязнения).

Невысокие значения КДА и повышенные концентрации загрязняющих веществ в воде указывают на поступление в водный объект свежего загрязнения, в результате чего отношения Сдо/Свода снижаются и не превышают двух порядков при концентрациях загрязняющего вещества в воде.

Значения КДА, равные от $n \times 10$ – $n \times 10^4$ при концентрациях загрязняющего вещества в воде существенно превышающих величину ПДК, свидетельствуют о высоком уровне хронического загрязнения водного объекта.

Проба донных отложений, отобранная выше участка изысканий – фоновая.

Согласно данным таблиц, можно сделать вывод о высоком уровне хронического загрязнения водного объекта по свинцу, цинку, марганцу, никелю, меди. Загрязнение донных отложений и водного объекта происходит от воздействия техногенных факторов. Коэффициент донной аккумуляции (КДА) ниже автодороги (вдоль тела свалки) в 0,75–2,0 раз выше, чем КДА выше автодороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение уровня загрязненности поверхностных вод в бассейне реки Черек вблизи поселка Кашхатау Кабардино-Балкарской республики в районе полигона ТКО показало, что водные объекты имеют высокий уровень хронического загрязнения и устойчивый высокий уровень превышения ПДК по некоторым гидрохимическим показателям.

Выявлен высокий уровень хронического загрязнения водного объекта по свинцу, цинку, марганцу, никелю, меди.

Оценка загрязненности донных отложений проведена на основе сравнения концентрации каждого из загрязняющих веществ в пробах донных отложений, отобранных в створах наблюдений и в фоновом створе, при условии идентичности типов донных отложений. Оценка осуществлена в ходе сравнения коэффициентов загрязнения водных объектов, расположенных до и после полигона ТКО. В качестве фоновых использовались значения загрязняющих веществ в водном объекте до полигона ТКО.

Загрязнение донных отложений и водного объекта происходило в результате выброса в среду веществ техногенного происхождения. Коэффициент донной аккумуляции (КДА) ниже полигона ТКО (вдоль тела свалки) в 0,75–2,0 раз выше, чем КДА до полигона ТКО (фоновый).

Для оперативной оценки состояния водных объектов можно рекомендовать методику «Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения)» с дополнительным анализом донных отложений.

Список литературы

Белюченко И. С. Функционирование степных рек Краснодарского края и перспективы их развития // Экология речных ландшафтов (сб. стат. по матер. I Международ. науч. экологич. конф. – Краснодар: КубГАУ, – 2017. – С. 28–43.

Быкова О.Г. Комплексная оценка состояния водных экосистем Чановского региона // Гео-Сибирь. – 2002. – Т. 4, – № 2. – С. 149–152.

Жукова Н. В., Берест Е. В., Начаркина О. В. Оценка экологического состояния поверхностных вод городского округа Саранск // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 7–11.

Игошкин В. В. Влияние полигона твердых бытовых отходов г. Оренбурга на качество подземных вод // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 16 (135). – С. 148–150.

Мажайский Ю. А., Гусева Т. М. Мониторинг тяжелых металлов в экосистеме малой реки Окского бассейна // Теоретическая и прикладная экология – 2017. – № 2. – С. 54–59.

Рекомендации (Р 522.24.756-2011). Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения). – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – 2011. <https://docs.cntd.ru/document/1200088330>

Техногенное загрязнение речных экосистем / [Под ред. Райнина В. Н. и Виноградовой Г. Н]. – М.: Научный мир, 2002. – 140 с.

Ткаченко Л. Н., Гладких А. В. Оценка экологического состояния водной экосистемы реки Афипис станицы Смоленской // Экология речных ландшафтов. Сб. стат. по матер. I Международ. научн. экологич. конф. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – С. 251–254.

Шавшина А. В. Экологический мониторинг состояния вод Таганрогского залива для оценки комфортности жизни // Наука настоящего и будущего. – 2018. – Т. 1. – С. 467–470.

Drovovozova T.I., Panenko N.N., Leshchenko A V. Integral indicator of the quality of wastewater discharged into a water body // Engineering Bulletin of the Don. – 2019. – N 3. – P. 31–36.

Zubarev V. A. Hydrochemical indices of surface water quality assessment // Regional wastewater discharged into a water body // 2014. – Vol. 17, N 2. – P. 71–77.

Khuchunaeva L. V. Assessment of the ecological state of water bodies near the municipal solid waste landfill (Kashkhatau village, Kabardino-Balkar Republic) // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 234–240.

In the work, for the operational assessment of water quality in water bodies near the waste disposal site "MSW landfill near the village of Kashkhatau, Kabardino-Balkaria Republic, the method" Criteria for assessing the risk of toxic pollution of surface waters of land in emergency situations (in cases of pollution) was applied together with an analysis of the state of bottom sediments. A high level of chronic pollution of the water body by lead, zinc, manganese, nickel, and copper was obtained. The assessment of bottom sediment contamination was carried out on the basis of a comparison of the concentration of each of the pollutants in samples of bottom sediments taken in observation sites and in the background section, provided that the types of bottom sediments are identical in absolute form in the form of pollution coefficients, pollution factors representing the detected concentration to the background one. The measured values of pollutants in the water body up to the MSW landfill were used as the background. Pollution of bottom sediments and a water body occurs from the impact of technogenic factors. The coefficient of bottom accumulation (CDA) below the MSW landfill (along the body of the landfill) is 0.75–2.0 times higher than the CDA before the MSW landfill (background). Determining the level of surface water pollution near the MSW landfill showed that water bodies have a high level and a stable high level of exceeding the MPC for some hydrochemical indicators. For an operational assessment of the state of water bodies, it is recommended to use the methodology "Criteria for assessing the risk of toxic pollution of land surface waters in emergency situations (in cases of pollution)" with an additional analysis of bottom sediments with the determination of the bottom accumulation coefficient.

Key words: MSW landfills, pollution, water bodies, MPC, bottom accumulation factor, chronic pollution.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 28.12.22

УДК 372.863

Методологические основы экологического образования в аграрном вузе

Черятова Ю. С., Ембатулова Е. Ю.

Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия
u.cheryatova@rgau-msha.ru, e.embaturova@rgau-msha.ru

Статья посвящена изучению методологических основ экологического образования на примере Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева. В работе была проанализирована рабочая программа дисциплины «Ботаника с основами геоботаники» и программа учебной практики «Ознакомительная практика по ботанике с основами геоботаники», предназначенных для подготовки бакалавров первого курса по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»; по профилям подготовки «Экология» и «Природопользование». В университете реализуются традиционный и развивающий научный подходы к экологическому образованию, которые основываются на природоохранном материале и бережном отношении к природе, а также на экологических знаниях, позволяющих моделировать экологические ситуации и предвидеть их изменения под воздействием неблагоприятных факторов среды. В результате прохождения курса студенты получают навыки цифровизации, овладевают цифровыми компетенциями, необходимыми для практической подготовки будущего специалиста-эколога. Обучающиеся проводят определение растений и мониторинг фитоценозов при помощи мобильных приложений и электронных ресурсов Inaturalist, PlantNet, PlantSnap, PictureThis, FlowerChecker, Agrobase, What's This Flower, Plantix, посещают виртуальные экскурсии по всемирно известным ботаническим садам мира, пользуясь кафедральной медиатекой и онлайн-видеохостингами. Экспериментальные данные научных исследований студенты представляют при помощи современных презентационных программ.

Ключевые слова: экология, природопользование, экологическое образование, методология учебной деятельности, аграрный вуз, ботаника с основами геоботаники, рабочая программа.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическое образование — это непрерывный процесс обучения, воспитания и развития личности, направленный на формирование системы научных и практических знаний, ценностных ориентаций, поведения и деятельности, обеспечивающих ответственное отношение человека к окружающей социально-природной среде. Основной задачей экологического образования является формирование мировоззрения, основанного на представлениях о единстве с природой (Лисеев, 2001; Попова, 2004; Александров, 2014). Экологическое образование в аграрном вузе призвано способствовать решению экологических проблем в быстро меняющихся условиях окружающей среды (Кильчевский и др., 2003; Сергиенко, 2007). Именно экологическое образование призвано формировать общественно-экологическое мировоззрение, правовые позиции, комплекс научных знаний, способность воплощать знания в практику, умение сотрудничать друг с другом во имя сохранения природы; поднимать уровень культуры человека и общества в целом, совершенствовать моральные качества людей (Смуров, 2005; Блинов, Полякова, 2007; Алексеева и др., 2020). Экологическое образование в неблагоприятной экологической ситуации в России становится решающим фактором в сохранении окружающей среды (Иванова, 2005). Необходимо при этом подчеркнуть, что от профессионализма преподавателей аграрных вузов во многом зависит формирование экологического мышления студентов и будущее нашей планеты. Качественное экологическое образование позволит повысить минимальный уровень социально-экологической компетенции студентов, стать базой формирования экологической культуры на производстве и в быту, направленной на

сохранение биоразнообразия и рациональное воспроизводство природных ресурсов на нашей планете (Горюнова, 2001; Карпенков, 2011). Экологическое образование формируется из многих факторов, но говоря об агрообразовании, следует особо выделить глобальную роль зеленых растений.

В настоящее время техногенная нагрузка на природу увеличивается, экологическая ситуация постепенно ухудшается (De Iulio et al., 2022). Загрязнение бытовыми и промышленными отходами воздуха, почвы, водоемов, вырубка лесов — это лишь немногие факторы, которые неминуемо приближают все человечество к экологической катастрофе. Экосистема немыслима без определенного набора видов и плотности живых организмов (Черятова, 2022). В силу вышесказанного, знания в области экологии нужны, чтобы предотвратить катастрофические последствия, которые могут произойти из-за неправильных отношений между человеком и средой его обитания.

Методологические основы экологического образования в университетах строятся на научных и педагогических концепциях (Sharafutdinova et al., 2020). На сегодня в отечественной науке дифференцировались два подхода к экологическому образованию: традиционный и развивающий. Традиционный научный подход к экологическому образованию базируется на природоохранном материале и воспитании любви и бережного отношения к природе. Целью данного подхода является формирование экологической культуры. Развивающий подход основывается на экологических знаниях, позволяющих проектировать экологические ситуации и предвидеть их изменения ввиду человеческой деятельности. Целью данного подхода является формирование таких личностных качеств, как экологическое мышление, экологическое мировоззрение и экологическое сознание.

Настоящим прорывом в экологическом образовании стало использование цифровых технологий. В частности, создание виртуального гербария университетов послужило информационным ресурсом, обеспечивающим быстрый и качественный доступ специалистов к базам данных генофондов мировых гербарных коллекций (Черятова, 2021). Во многих вузах масштабная цифровизация произошла во время недавней пандемии COVID-19, играя роль «спасательного круга» в попытке минимизировать негативное влияние эпидемиологических ограничений и запретов на образовательный процесс (Ембатурова, 2021). Однако после отмены ограничений от цифровых технологий не отказались, а напротив, они получили большое развитие и прочно заняли место в учебных планах экологических дисциплин. Потенциал цифровых технологий позволяет им снова и снова применяться в любых образовательных траекториях и при самых разных внешних обстоятельствах.

На сегодня в отечественной литературе слабо освещен вопрос о формировании у студентов аграрных вузов экологических знаний и культуры, поэтому рассматриваемая тема является весьма актуальной и своевременной.

Цель настоящей работы – проанализировать методологический подход к формированию основ экологического образования в Российском государственном аграрном университете – Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева в соответствии с современными требованиями Федеральных государственных стандартов Высшего образования (ФГОС ВО).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследовательская работа проводилась на кафедре ботаники, селекции и семеноводства садовых растений Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева в 2022 году. Был проведен анализ рабочей программы дисциплины «Ботаника с основами геоботаники» и программы учебной практики «Ознакомительная практика по ботанике с основами геоботаники», предназначенных для подготовки бакалавров первого курса по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»; по профилям (направленностям) подготовки «Экология» и «Природопользование».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дисциплина «Ботаника с основами геоботаники» относится к базовой части учебного плана программы подготовки бакалавров по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование» и включена в перечень обязательных дисциплин. Курс «Ботаника с основами геоботаники» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Стресс-физиология растений», «Учение о биосфере с основами биоразнообразия», «Ландшафтоведение», «Сельскохозяйственная экология (агроэкология)».

Особенностью дисциплины является то, что на протяжении всего курса студент имеет дело с теоретическими и практическими материалами, базирующимися на материалах предыдущих занятий, с растительными объектами или в виде микропрепаратов (временных или постоянных), или в виде гербарных и свежесобранных образцов. При изучении этих объектов обучающиеся используют современные микроскопы, в том числе стереоскопические.

Успешно освоившие дисциплину «Ботаника с основами геоботаники» студенты не только овладевают всеми требуемыми компетенциями согласно ФГОС ВО, но и получают необходимые навыки цифровизации, без которых немыслима работа специалиста-эколога в настоящее время. Так, в ходе курса студенты знакомятся с возможностями и ресурсами электронных справочных баз Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии (РГАУ–МСХА), Центральной Научной Сельскохозяйственной Библиотеки (ЦНСХБ), Флора и фауна, eLibrary, Google Академия, веб-сайтов Plantarium, ipni.org. и др., учатся идентифицировать растения при помощи мобильных приложений, ресурсов (Inaturalist, PlantNet, PlantSnap, PictureThis, FlowerChecker, Agrobases, What's This Flower, Plantix), верифицировать латинские названия таксонов при помощи сайта ipni.org (International Plant Names Index) (рис. 1).

В рамках прохождения курса обучающиеся посещают виртуальные экскурсии по ботаническим садам мира, а также по различным фитоценозам, пользуясь кафедральной медиатекой и онлайн-видеохостингами. Экспериментальные данные, полученные в ходе совместных с преподавателями научных исследований, студенты представляют при помощи самых современных презентационных программ.

Для закрепления и углубления теоретической подготовки обучающихся проводится учебная ознакомительная практика по ботанике с основами геоботаники на базе учебно-научных подразделений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева: Ботанический сад имени С. И. Ростовцева и Дендрологический сад имени Р. И. Шредера, а также в естественно-природных комплексах: комплексном заказнике «Петровско-Разумовское», «Лесная опытная дача», национальном парке «Лосиный остров», природно-историческом парке «Покровское-Стрешнево», в ботаническом саду МГУ имени М. В. Ломоносова и главном ботаническом саду РАН имени Н. В. Цицина.

Основными задачами учебной практики по ботанике являются:

- знакомство с основными флористическими комплексами района прохождения практики и разнообразием растений;
- ознакомление с различными приспособлениями растений к условиям обитания;
- ознакомление со взаимосвязью живых организмов с условиями среды и единством всех элементов биогеоценоза;
- углубление знаний о роли растений в природе и жизни человека;
- расширение знаний об охране отдельных растений и растительного покрова на современном этапе развития человеческого общества;
- ознакомление с методикой полевых наблюдений и исследований, сбора материала, его коллекционирования (гербаризации) и определения;
- выработка у студентов навыков и умений работы с растениями в природных условиях;
- приобщение студентов к научно-исследовательской работе с ботаническими объектами;
- формирование у студентов любви к природе и бережного отношения к ней.



Рис. 1. Определение растений при помощи цифровых приложений в Дендрологическом саду имени Р. И. Шредера Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева

Помимо опыта применения на практике полевых методов экологических исследований (определять растения различных фитоценозов на родовом и видовом уровне, определять экобиоморфы растений, проводить анализ состава и определять тип и структуру фитоценоза, устанавливать морфолого-анатомические признаки воздействия факторов окружающей среды на растения, идентифицировать растения при помощи мобильных приложений в полевых условиях), обучающиеся также приобретают особо ценные в современном контексте навыки межличностной и групповой коммуникации и командного взаимодействия. Для достижения наилучшего результата студенты учатся распределять обязанности между участниками бригады при составлении геоботанических описаний, требующих командных усилий, совместно использовать учебно-методические пособия, определители и цифровые ресурсы, доступные в полевых условиях.

Ознакомительная практика по ботанике с основами геоботаники позволяет приобрести специфические навыки: экскурсирования, наблюдений в природе, камеральной обработки материала, геоботанических и морфологических описаний, опытно-экспериментальной и научно-исследовательской работы с ботаническими объектами. Она способствует также воспитанию у студентов определенных натуралистических качеств личности – научного мировоззрения, логического мышления, любознательности, пытливости, зоркости, любви к природе и бережному отношению к ней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В курсе «Ботаника с основами геоботаники» Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева в рамках подготовки бакалавров по направлению подготовки «Экология и природопользование» развиваются экологические знания об абиотических и биотических факторах среды, проявлении свойств и чертах адаптации, а также взаимоотношениях между организмами в растительных сообществах. Многие из них наполняются глубоким содержанием и завершаются определениями. Все это способствует заложению глубоких экологических знаний биоценотических связей организмов в природе, и подготавливает студентов к пониманию всего комплекса взаимосвязей организма и окружающей среды. В рассматриваемом курсе легко осуществляется формирование понятия о значении растений как биотических факторов. Развитие этого понятия совершается по двум линиям, отражающим основные элементы его содержания. Первая линия – о том, что растения являются важным условием в жизни других организмов; вторая – о том, что растения влияют на среду, то есть обладают большим средообразующим и индикационным действием. Эти элементы знаний способствуют более глубокому пониманию глобальной роли растений в природе.

Широкий охват систематических групп растений при прохождении курса «Ботаника с основами геоботаники», многочисленный и весьма разнообразный ряд конкретных представителей из разных экологических групп растений, с которыми знакомятся студенты, создают благоприятные возможности для обсуждения отдельных сторон проявления биологических свойств растений.

Список литературы

- Александров А. А. Экологическое образование и охрана окружающей среды. Технические университеты в формировании единого научно-технологического и образовательного пространства СНГ. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 282 с.
- Алексеева Н. Н., Аршинова М. А., Банчева А. И. Университетское экологическое образование в современном мире. – Москва: Буки Веди, 2020. – 339 с.
- Блинов Л. Н., Полякова В. В. Устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития. Экологическое образование: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2007. – 89 с.
- Горюнова Л. В. Экологическое образование // Актуальные проблемы экологии и природопользования. – 2001. – Вып. 2. – С. 174–180.
- Ембатурова Е. Ю. Учебная практика по ботанике в вузах разных стран (на примере Российской Федерации, Германии, Польши и южноафриканской Республики) – до и во время эпохи цифровизации // Дистанционное образование: трансформация, преимущества, риски и опыт: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Уфа: Издательство БГПУ им. М. Акмуллы, 2021. – С. 65–70.
- Иванова И. А. Значение биологической подготовки в формировании мировоззрения будущих специалистов АПК // Труды ученых Мичурин. гос. аграр. ун-та. – Мичуринск, 2005. – С. 142–145.
- Карпенков С. Х. Экология и современное образование // Машиностроитель. – 2011. – № 7. – С. 49–56.
- Кильчевский А. В., Никонович Т. В., Французенок В. В., Добродькин М. М. Роль экологического образования и воспитания в повышении качества высшего сельскохозяйственного образования // Проблемы управления качеством высшего образования. – Белорус. гос. с.-х. акад.: Горки, 2003. – С. 25–27.
- Лисеев И. К. Философия экологического образования. – Москва: Прогресс-Традиция, 2001. – 412 с.
- Попова Л. В. Общее и специальное экологическое образование в вузах // Актуальные проблемы экологии и природопользования. – 2004. – Вып. 4. – С. 241–250.
- Сергиенко Л. И. Развитие экологического образования в высшей школе // Аграрная наука. – 2007. – № 9. – С. 10–12.
- Смуров А. В. Роль экологической составляющей в образовании для устойчивого развития // Известия Академии промышленной экологии. – 2005. – № 2. – С. 82–84.
- Черятова Ю. С. О значении цифрового гербария в условиях дистанционной работы ботаников // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик: ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», 2021. – С. 373–375.
- Черятова Ю. С. О значении экологического прогресса экосистем // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования: Сборник статей III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 142–144.

De Iulio R., De Martino M., Isidori E. Environmental education and its contribution to sustainable cities // Science for Education Today. – 2022. – Vol. 12, N 2. – P. 136–150.

Sharafutdinova R. I., Muratova G. S., Tursunbayeva T. K. Concepts of ecological thinking and education and their formation in the minds of students // Biology and Integrative Medicine. – 2020. – Vol. 44, N 4. – P. 156–161.

Cheryatova Yu. S., Yembaturova E. Yu. Methodological foundations of environmental education in agricultural university // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 232–237.

The article is focused on the study of the methodological foundations of environmental education in a university, with Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev taken as an example. The authors analyzed the work program of the subject "Botany with the basics of phytosociology" and the program of educational practical training "Introductory training in botany with the basics of phytosociology", intended for the first-year bachelors in the field of study 05.03.06 "Ecology and nature management"; training profiles being "Ecology" and "Nature management". The university implements traditional and developing scientific approaches to environmental education, which are based on environmental material and respect for nature, as well as environmental knowledge that allows modeling environmental situations and predicting their changes under the influence of adverse environmental factors. Having completed the course, students receive digitalization skills and have a chance to master their digital competencies necessary for the practical training of a future environmental engineer. Students identify plants and monitor phytocenoses using mobile applications and electronic resources Inaturalist, PlantNet, PlantSnap, PictureThis, FlowerChecker, Agrobase, What's This Flower, Plantix, attend virtual tours of the world's famous botanical gardens using the Departments' media library and online video hosting. Students present experimental data of scientific research using modern presentation programs.

Key words: ecology, nature management, environmental education, methodology of educational activities, agricultural university, botany with the basics of phytosociology, work program.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 26.12.22

УДК 582.594.2:[581.46+581.5] (477.75)

Использование специальных приспособлений для изучения филлотаксиса соцветий и морфологии цветков охраняемых видов растений на примере орхидных (Orchidaceae)

Иванов С. П., Сволынский А. Д., Курамова В. В.

*Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, Республика Крым, Россия
spi2006@list.ru, svolinsky@gmail.com, viktoriya.bekirova@ya.ru*

Представлены сведения об устройстве и способе применения двух специальных приспособлений, предназначенных для получения сведений о филлотаксисе соцветий и морфологии цветков изучаемых видов растений. Работа с устройствами и ее результаты показаны на примере получения количественных характеристик соцветий орхидей. Одно из устройств позволяет без травмирования и изъятия растений из природы получить сведения о плоскостном и вертикальном филлотаксисе соцветий. Совокупность усредненных координат точек прикрепления ножек цветков к стеблю соцветия (относительно круговой горизонтальной угломерной шкалы и вертикальной линейной шкалы) представляет собой необходимый и достаточный набор данных, характеризующих пространственную структуру соцветия данного вида. С использованием полученных данных возможно построение графических моделей пространственной структуры соцветия, изучаемого вида растений. Второе устройство (ботанический препарат цветка), при минимальном ущербе для растения (из каждого соцветия изымается только один цветок), позволяет провести детальную морфометрию элементов строения цветка, а также сохранить материал в виде собрания (банка) ботанических препаратов, обеспечивающих возможность дальнейших исследований. Оба приспособления позволяют исследовать растения без травмирования и изъятия их из природы, что делает их незаменимыми при изучении охраняемых видов растений.

Ключевые слова: филлотаксис, пространственная структура соцветия, морфометрия цветка, ботанический препарат, Orchidaceae.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство растений, представителей семейства орхидей, относятся к редким и очень редким видам. Во многих странах мира орхидеи охраняются и нанесение им повреждений, и тем более изъятие их из природы запрещается. Особенно бережного отношения заслуживают генеративные органы орхидей – цветки и соцветия. Эти обстоятельства накладывают определённые ограничения на приемы и методы изучения орхидей и вынуждают исследователей разрабатывать специальные приспособления, с помощью которых можно было бы получить нужную информацию, не допуская повреждения или изъятия растений из природы (Патент на..., 2015а, 2015б).

Растениям семейства Orchidaceae присуща высокая степень стенофитности и сложность биоценологических связей, особенно ярко выраженная в разнообразии взаимоотношений с опылителями (Pijl, Dodson, 1966; Фегри, Пейл, 1982; Claessens, Kleynen, 2011; Ackerman et al., 2023; и др.). Раскрытие способов привлечения опылителей разными видами орхидей представляет собой не простую задачу, решение которой требует комплексного подхода, который включает, в том числе изучение филлотаксиса соцветий и строения цветков. Исследования в этом направлении уже начаты (Сволынский и др., 2014а, 2014б; Курамова и др., 2020, 2022а, 2022б; Сволынский и др., 2023). Однако дальнейшее развитие исследований в этом направлении сдерживается отсутствием сведений о соответствующих приспособлениях, позволяющих получить количественные характеристики соцветий и цветков орхидей без изъятия растений из природы.

Цель настоящей работы – представить сведения об устройстве и применении (на примере орхидных) двух приспособлений, предназначенных для изучения филлотаксиса соцветий и морфологии цветков охраняемых видов растений без изъятия их из природы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Устройства для выявления пространственной структуры соцветий растений.

Первое устройство представляет собой картонный диск с нанесенной на него круговой шкалой от 0 до 360° (рис. 1 а). Диск имеет небольшое круглое отверстие в центре, от которого сделан разрез до края диска. На диске, представленном рисунке 1 а, разрез сделан от центра отверстия по красной линии к отметке 360°. При работе с соцветиями недостаточно крепкими, чтобы удержать на себе картонный диск, рядом с диском в землю втыкаются опорные рейки с горизонтальными прорезями, в которые вставляются края диска.



Рис. 1. Устройство для измерения величины угла между соседними цветками в соцветии (а) и плоскостной филлотаксис соцветий *Dactylorhiza romana* (Sebast.) Soó (b) и *Orchis mascula* (L.) L. (c), построенный по результатам измерений

Использование устройства осуществляется следующим образом. На выбранном для съемки параметрах соцветии закрепляется диск – в прорезь диска чуть ниже точки прикрепления нижнего цветка вставляется стебель соцветия и надвигается на соцветие так, чтобы стебель попал в отверстие в центре диска. С помощью кусочков поролона диск закрепляется в отверстии диска так, чтобы центр стебля занял положение в центре диска, а нулевое значение шкалы находилось напротив точки прикрепления к стеблю нижнего цветка. Далее, в основание ножки цветка, следующего за первым на соцветии, втыкается (или только прикасается острым кончиком) тонкая игла и направляется в сторону шкалы, в том направлении в котором направлен цветок. Игла в таком положении будет указывать, на какой угол отклонился второй цветок относительно первого. Величина угла считывается со шкалы и записывается. Далее необходимо взять вторую иглу и воткнуть (или только прикоснуться) в основание следующего (третьего) цветка и оценить угол отклонения третьего цветка относительно второго. Далее, используя те же две иглы и поднимаясь вверх по соцветию, измеряются отклонения между соседними цветками на всем соцветии. После этого мерной линейкой так же последовательно измеряются расстояния между соседними цветками по вертикали и общее расстояние между нижним и верхним цветком.

Изменения следует проводить не раньше момента времени, когда на соцветии полностью распустятся все цветки, при этом нижние цветки могут быть уже увядшими. Измерения можно проводить и на соцветиях с увядшими цветками.

Полученные таким путем данные усредняются и используются для построения графической модели плоскостного филлотаксиса модели соцветия изучаемого растения. Два примера таких моделей представлены на рисунке 1 *b* и *c*.

Необходимо отметить, что в зависимости от того, вправо или влево от нижнего первого цветка в соцветия будет расположен второй цветок, соцветия делятся на правозакрученные и левозакрученные и соответственно будет меняться и направление закручивания спирали на рисунке.

Второе устройство для выявления пространственной структуры соцветий растений (рис. 2 *e*) включает закреплённую на внешней опоре градуированную по вертикали и горизонтали прозрачную гибкую пластину прямоугольной формы, при этом вертикальная (линейная) шкала нанесена по боковому краю, а горизонтальная (угломерная) шкала нанесена по верхнему краю пластины после фиксации её боковых краёв и отметок на ней маркером проекций опорных точек.

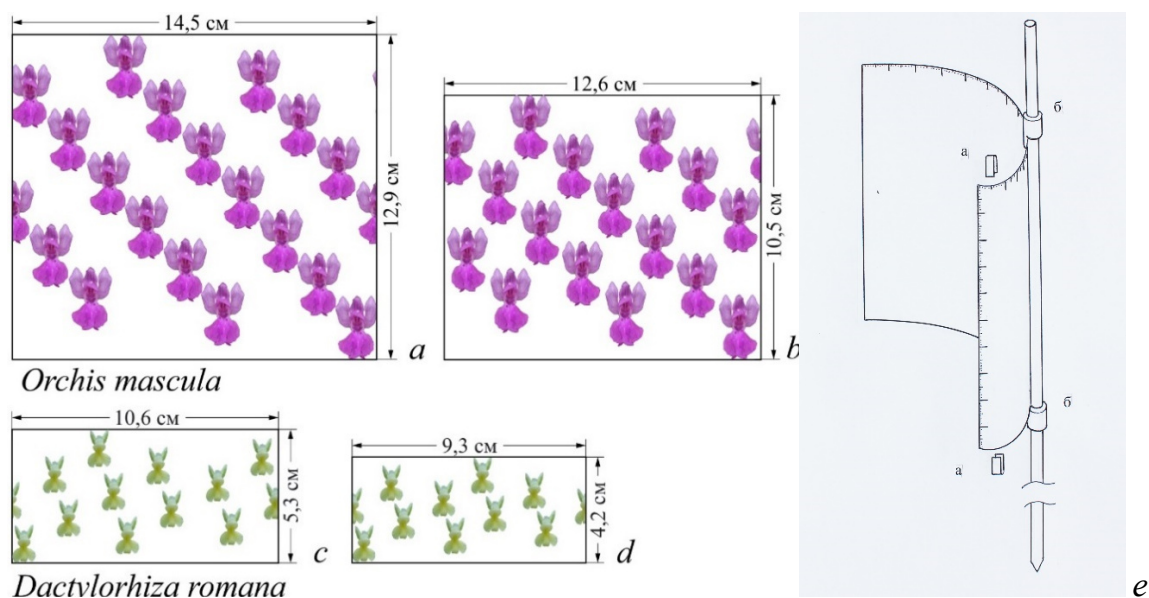


Рис. 2. Устройство для выявления координат контрольных точек цветков на развертке боковой поверхности соцветия (*e*) и цилиндрический филлотаксис соцветий орхидей *Orchis mascula* (*a* и *b*) и *Dactylorhiza romana* (*c* и *d*) (по Сволынский, 2016 с дополнениями)
a – модель соцветий из урочища Чакатыш (Южный берег Крыма), *b* – тоже из урочища Карабель-Даг (Горный Крым); *c* – тоже со склонов горы Кагель (Южный берег Крыма); *d* – тоже из Осиновой балки (Горный Крым). Размер по горизонтали – периметр соцветия, размер по вертикали – высота соцветия (средние величины); *e* – устройство для выявления координат контрольных точек цветков на развертке боковой поверхности соцветия.

Данное устройство используется следующим образом. Внешняя опора с прикрепленной к ней на высоте соцветия пластиной устанавливается рядом с соцветием так, что ее верхний край находится на уровне верхнего края соцветия, при этом внутренняя поверхность пластины примыкает к внешним краям цветков в соцветии. Пластина оборачивается вокруг соцветия, приобретая форму цилиндра, ее сомкнувшиеся края скрепляются между собой скрепкой снизу и сверху. На пластине делают отметки нижнего края соцветия, а также отмечается степень перекрытия верхнего и нижнего краев пластины. На наружную поверхность пластины маркером наносятся проекции опорных точек соцветия (центр зева

венчика, вход в шпорец и др.). Развернув пластину после нанесения на нее всех необходимых отметок, мы получаем развертку соцветия в натуральную величину. После наложения пластины на лист с координатной сеткой мы получаем возможность зафиксировать координаты каждой контрольной точки цветков на боковой поверхности соцветия.

Совокупности координат точек прикрепления ножек цветков к стеблю соцветия и координат контрольных точек цветков на боковой поверхности соцветия представляют собой необходимый и достаточный набор данных, характеризующих пространственную структуру соцветия данного вида растений. На основании этих данных можно построить графические модели соцветий растений изучаемого вида в виде схем плоскостного (рис. 1 *b, c*) и цилиндрического (рис. 2 *a, b, c, d*) филлотаксиса соцветий. Графические модели плоскостного и цилиндрического филлотаксиса соцветий орхидей *Dactylorhiza romana* (Sebast.) и *Orchis mascula* (L.) L. представлены на указанных рисунках.

Эти модели наглядно демонстрируют отличия в пространственной структуре соцветий растений двух видов орхидей как между собой, так и между разными ценопопуляциями этого вида, произрастающих в разных условиях.

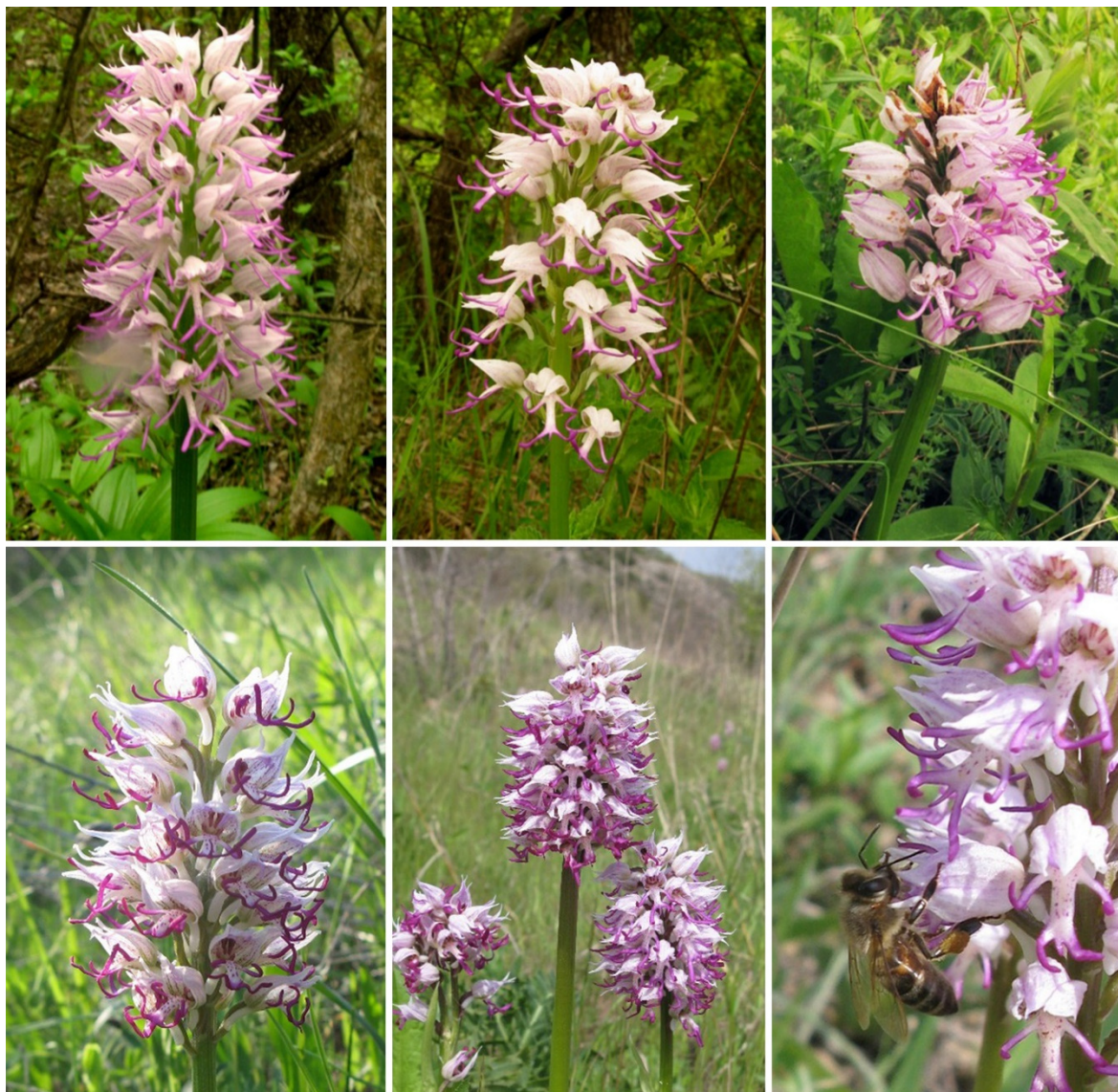


Рис. 3. Вариабельность размеров и формы соцветий орхидеи *Orchis simia* Lam. и посещение цветков орхидеи медоносной пчелой (урочище Аян, Крым)

Следует отметить, что метрические характеристики соцветий орхидей имеют важное значение в изучении взаимоотношений растений с опылителями (Юрцева, 2006; Саркина, Крайнюк, 2022 и др.). Степень привлекательности соцветий для опылителей зависит, прежде всего, от их размеров, плотности цветков, оригинальности формы. Именно эти параметры находят свое отражение в представленных выше моделях. Пчелы – основные опылители большинства видов орхидей – способны различать достаточно небольшие отличия как оттенков и сочетаний цветов, так и формы предметов (Мазохин-Поршняков, Граевская, 1966; Мазохин-Поршняков, 1969; Мазохин-Поршняков и др., 1978). Соцветия орхидей демонстрируют достаточно широкую вариабельность в отношении как окраски цветков (Курамова и др., 2022б), так и формы соцветия (рис. 3). Первые три снимка сделаны во второй половине дня, когда наблюдается сдвиг спектра солнечного света в сторону более длинных волн. Отличия по форме соцветия орхидеи на первом снимке, возможно, связаны с гибридным происхождением особи (*Orchis* × *beyrichii* nothosubsp. *mackaensis*).

Стоит отдельного упоминания, что изучение биоценологических связей орхидей, в особенности взаимоотношений с опылителями, которые включают и вопросы привлекательности соцветий, связанные с их параметрами, имеет первостепенное значение для разработки мер охраны этих редких растений.

Ботанический препарат и возможности его использования для изучения морфологии цветков. Ботанический препарат состоит из образца растения, заключенного между слоем скотча и слоем бумаги или между двух слоев скотча (рис. 4).

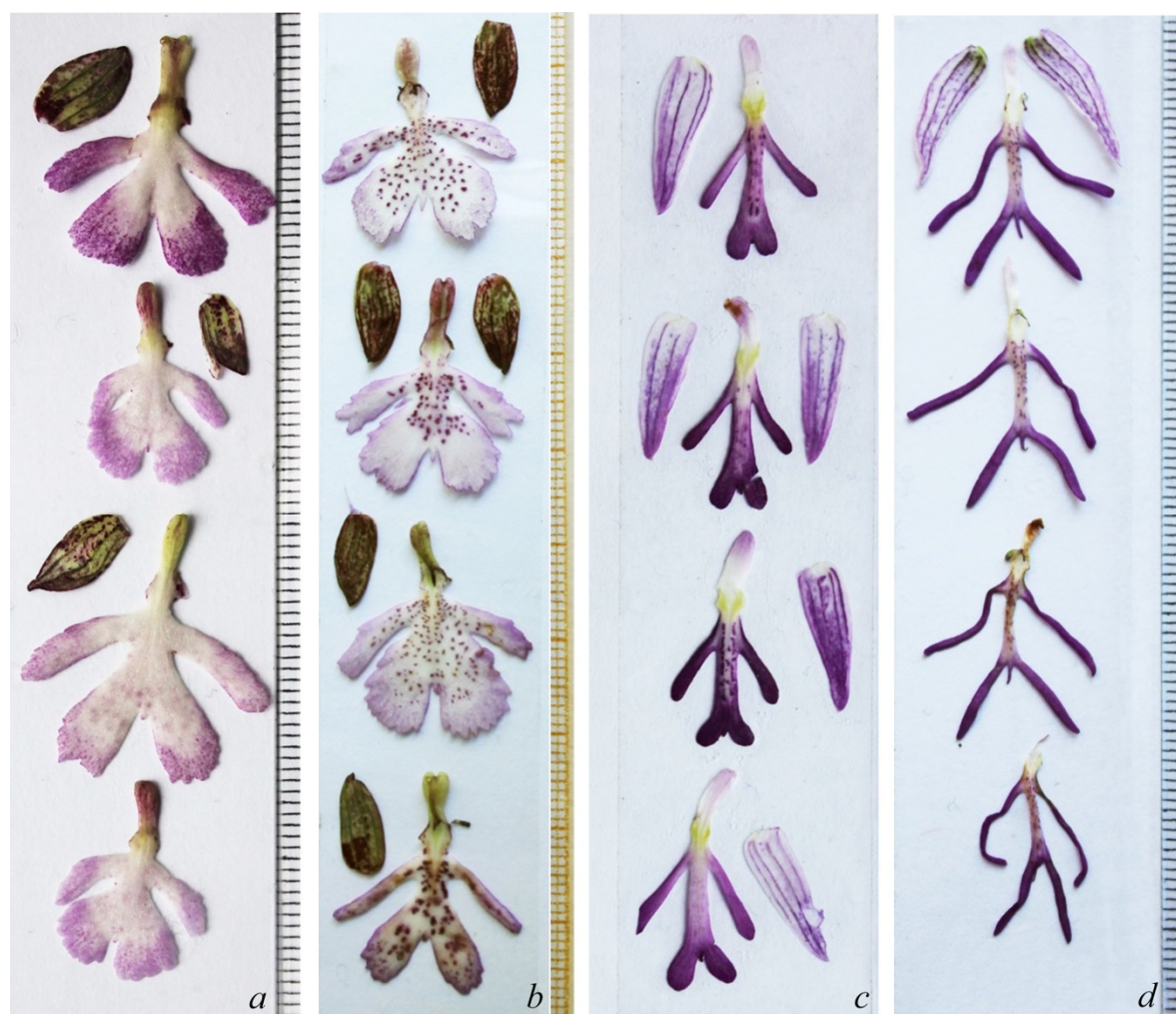


Рис. 4. Ботанические препараты цветков орхидей
a, b – *Orchis purpurea* Huds. из разных ценопопуляций; *c* – *O. militaris*, *d* – *O. simia*. Одно деление масштабных линеек – 1 мм.

Ботанический препарат изготавливается следующим образом. Образец части растения (лепесток цветка, лист или его часть, часть стебля, пыльцевые зерна и т. п.), который содержит необходимые для исследования структуры, расправляется на липкой стороне ленты скотча и покрывается листом бумаги или вторым слоем скотча. Образцы, заключенные между слоем скотча и слоем бумаги (или между слоями скотча), могут быть заключены в специальные рамки или храниться прикрепленными к листам картона, сложенными в специальные папки. Описанное устройство ботанического препарата обеспечивает долговременную его сохранность, исключая облом и потерю отдельных частей, а также повреждение вредителями.

Набор ботанических препаратов разных частей растения дает возможность проведения полноценных (основанных на большом материале) исследований морфологии растений без изъятия их из природы.

Так же как и метрические параметры соцветий, размеры и форма лепестков цветков имеют важное значение для привлечения опылителей. Кроме того, эти параметры важны для обеспечения успешности сбора опылителями пыльцы и нектара на цветках, а в случае с орхидеями – снабжения опылителя поллиниями.

Следует отметить, что отбор материала для изготовления ботанических препаратов цветков орхидей, можно проводить только имея соответствующее разрешение. Кроме того, необходимо стремиться к минимизации вреда цветущим растениям. Из каждого соцветия достаточно изъять только один цветок. Сбор цветков для ботанических препаратов желательно осуществлять в конце периода цветения. В этот период большинство цветков закончили цветение и завяли, образовав или не образовав завязь. Тем не менее среди цветущих цветков могут оказаться опыленные, поэтому перед отбором цветка для препарата следует посмотреть – не опылен ли он (нет ли поллинириев на его рыльце).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устройство для выявления пространственной структуры соцветий растений позволяет без травмирования и изъятия растений из природы получить сведения о филлотаксисе соцветий. Совокупность усредненных координат точек прикрепления ножек цветков к стеблю соцветия (относительно круговой горизонтальной угломерной шкалы и вертикальной линейной шкалы) представляет собой необходимый и достаточный набор данных для построения двух моделей пространственной структуры соцветия изучаемого вида растений – плоскостной и цилиндрической. Плоскостная модель отражает угловое отклонение каждого следующего цветка от соседнего на оси соцветия. Цилиндрическая модель представляет собой развертку боковой поверхности соцветия, которая отражает взаимное расположение цветков относительно друг друга, плотность расположения цветков и их среднее число.

Второе устройство – ботанический препарат цветка – при минимальном ущербе для растения (поскольку изымается только один неопыленный цветок с одного соцветия) позволяет провести детальную морфометрию элементов строения цветка в лабораторных условиях, а также сохранить материал в виде собрания (банка) ботанических препаратов для дальнейших исследований.

Представленные сведения об устройстве, способе применения и результатах использования двух специальных приспособлений, предназначенных для изучения филлотаксиса соцветий и морфологии цветков растений, могут оказаться полезными не только при изучении орхидей, но и изучении других охраняемых видов растений, изъятие которых из природы невозможно.

Список литературы

Курамова В. А., Свольнский А. Д., Иванов С. П. Особенности опыления орхидеи *Anacamptis morio caucasica* в Крыму // Инновации. Наука. Образование. – 2022а. – 50. – С. 2445–2455.

Курамова В. В., Иванов С. П., Свольнский А. Д. Некоторые антропоэкологические особенности орхидеи *Neotinea tridentata* в Крыму: пространственное размещение, параметры и цветовая гамма соцветий // Экосистемы. – 2022б. – Вып. 31. – С. 143–154.

Курамова В. В., Свольнский А. Д., Иванов С. П. Сравнительный анализ особенностей опыления орхидеи *Anacamptis morio caucasica* в двух ценопопуляциях в Предгорной зоне Крыма // Экосистемы. – 2020. – 22. – С. 111–121.

Мазохин-Поршняков Г. А. Цветовое зрение медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.) и проблема адаптивного значения окраски цветков растений // Современные проблемы структуры и функции нервной системы насекомых. – 1969. – Т. 53. – С. 222–237.

Мазохин-Поршняков Г. А., Граевская Е. Э. Узнавание насекомыми сочетания окрасок и сравнение этой способности у пчел и ос // Журнал общей биологии. – 1966. – Т. 27. – С. 112–116.

Мазохин-Поршняков Г. А., Семенова С. А., Сердюкова И. Р. Загадка восприятия формы медоносной пчелой *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae) // Энтомологическое обозрение. – 1978. – Т. 57. – № 4. – С. 722–730.

Патент на полезную модель 154167 Российской Федерации МПК А01G 7/00. Устройство для выявления пространственной структуры соцветий цветковых растений / Иванов С. П., Свольнский А. Д.; патентообладатель ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». – № 015113582; заявл. 13.04.15; опубл. 20.08.15а, Бюлл. № 23.

Патент на полезную модель 157573 Российской Федерации МПК А01N 3/00, G09В 23/38. Устройство для хранения ботанического материала / Иванов С. П., Свольнский А. Д., Свольнская Л. А.; патентообладатель ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». – № 2015114245/10; заявл. 16.04.2015; опубл. 10.12.15б, Бюлл. № 34.

Саркина И. С., Крайнюк Е. С. Морфоизменчивость цветка в ценопопуляции *Ophrys oestrifera* M. Vieb. на ООПТ «Мыс Мартьян» (Южный берег Крыма) // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2022. – № 13. – С. 68–78.

Свольнский А. Д. Антэкология четырех видов ранневесенних энтомофильных орхидей (Orchidaceae Juss.) Крыма: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Экология. – Ялта, Никитский ботанический сад, 2016. – 23 с.

Свольнский А. Д., Иванов С. П., Курамова В. В. Особенности антэкологии *Dactylorhiza romana* (Orchidaceae) в Крыму: распространение, фенология, пространственное размещение и морфометрия цветущих растений // Экосистемы. – 2023. – 33. – С. 119–133.

Свольнский А. Д., Иванов С. П., Фатерьга А. В. Особенности антэкологии ятрышника прованского (*Orchis provincialis*, Orchidaceae) в Крыму: фенология, пространственное распределение, морфометрия цветков и соцветий // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014а. – Вып. 10. – С. 68–76.

Свольнский А. Д., Иванов С. П., Фатерьга А. В. Особенности антэкологии ятрышника прованского (*Orchis provincialis*, Orchidaceae) в Крыму: опылители, система их привлечения, уровень опыления // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014б. – Вып. 11. – С. 144–157.

Фегри К., Пэйл Л. Основы экологии опыления. – М.: Мир, 1982. – 381 с.

Юрцева О. В. Особенности цветков и соцветий Polygonaceae в связи со способом опыления // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 2006. – Т. 111, № 6. – С. 24–37.

Ackerman J. D., Phillips R. D., Tremblay R. L., Karremans A., Reiter N., Peter C., Bogarín D., Pérez-Escobar O. A., Liu H. Beyond the various contrivances by which orchids are pollinated: global patterns in orchid pollination biology // Botanical Journal of the Linnean Society. – 2023. – Vol. XX. – P. 1–30.

Claessens J., Kleynen J. The Flower of the European Orchid. Form and Function. – Voerendaal, 2011. – 439 p.

Pijl L., Dodson C. H. Orchid Flowers: Their Pollination and Evolution. – Coral Gables: University of Miami Press, 1966. – 214 p.

Ivanov S. P., Svolynskiy A. D., Kuramova V. V. Using special adaptations to study phyllotaxis of inflorescences and flower morphology of protected plant species, using orchids (Orchidaceae) as an example // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 238–244.

Information is presented on the device and method of application of two special devices designed to obtain data on inflorescence phyllotaxis and flower morphology of plant species under study. The operation of the devices and its results are shown using the example of obtaining quantitative characteristics of orchid inflorescences. One of the devices makes it possible to obtain information on the planar and vertical phyllotaxis of inflorescences without traumatizing and removing plants from nature. The set of averaged coordinates of flower stalk attachment points to the inflorescence stem (relative to the circular horizontal angle scale and vertical linear scale) is a necessary and sufficient set of data characterizing the spatial structure of the inflorescence of the species under study. The set of averaged coordinates of flower stalk attachment points to the inflorescence stem (relative to the circular horizontal angle scale and vertical linear scale) is a necessary and sufficient data set characterizing the spatial structure of the inflorescence of the species under study. Using the data obtained, it is possible to construct a graphical model of the spatial structure of the inflorescence of the plant species under study. The second device (botanical flower preparation) with minimal damage to the plant (only one flower is removed from each inflorescence) allows detailed morphometry of the elements of the flower structure, as well as saving the material as a collection (bank) of botanical preparations, providing an opportunity for further research. Both devices make it possible to study plants without traumatizing and removing them from nature, which makes them indispensable for the study of protected plant species.

Key words: phyllotaxis, spatial structure of inflorescence, flower morphometry, botanical preparation, Orchidaceae.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 11.01.23

СОДЕРЖАНИЕ

Бадьин А. В., Суслев В. И., Саркисян А. С., Казанин В. А., Ланин Е. В., Южаков М. С. Применение системы удаленного мониторинга динамики атмосферных параметров в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета.....	5
Богайскова А. В., Силаева Ж. Г. Проблемы совершенствования современного ассортимента древесных насаждений в города Орла.....	15
Васькова Е. А., Дмитриев В. В. Интегральная оценка экологического благополучия природно-техногенной системы «водосбор – водохранилище» Ивановского водохранилища.....	21
Глинских А. Д. Биогеохимические особенности сосняков лесостепи Челябинской области.....	30
Дрозденко Т. В., Александрова С. М., Антал Т. К. Фитопланктон и экологическое состояние Чудско-Псковского озера.....	36
Ермакова О. Д. Результаты мониторинга целлюлозолитической активности бурой горнолесной почвы хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье).....	44
Ефремов В. А., Зуев В. А., Леус А. В., Мангазеев Д. И., Радыш А. С., Холодняк И. В. Формирование регистраций животных на основе постобработки данных.....	51
Истомин А. В. Роль ранних стадий послерубочных сукцессий в поддержании природных очагов лептоспироза в центральной части Каспийско-Балтийского водораздела.....	59
Истомин А. В., Истомина Н. Б. Особо охраняемые природные территории Псковской области как основа поддержания биоразнообразия трансграничного региона.....	67
Кучина Е. Е., Назаренко Н. Н. Некоторые аспекты формирования экологической культуры будущих учителей физкультуры.....	74
Лисецкий Ф. Н., Зеленская Е. Я. Различия содержания тяжелых металлов в почвах Южного берега Крыма (пространственно-временной анализ).....	81
Мещурова Т. А., Ходяшев М. Б. Об установлении в справочниках НДТ технологических показателей содержания в стоках технологических установок загрязняющих веществ, влияющих на снижение объемов образования отходов.....	92
Москвитина Н. С., Жигалин А. В., Ковалевский А. В. Динамика и современное состояние видов наземных беличьих – <i>Marmota kastschenkoi</i> Stroganov et Yudin, 1956 и <i>Spermophilus erythrogegens</i> Brandt, 1841 – на юго-востоке Западной Сибири.....	99
Плахотняя Д. П., Костырев Б. П., Рачейсков Н. А., Шульга В. В., Бураева Е. А. Распределение гамма-фона на территориях городов и сельских поселений Краснодарского края.....	106
Попова Л. В., Пикуленко М. М., Таранец И. П. Эффективная форма экопросвещения: университетская суббота школьника в вузовском музее.....	111
Попова Н. Н., Казакова М. В. Роль геологических памятников природы в сохранении биоразнообразия мохообразных Рязанской области.....	118
Постарнак Ю. А., Литвинская С. А. Галофитно-нитрофитные сообщества класса <i>Sakile maritimaе</i> Tx. et Br.-Bl. Et Tx. 1952 литоральной зоны Азовского моря (Вербяная коса, Краснодарский край).....	126

Романова А. С., Бандурин М. А., Приходько И. А. Мониторинг технического состояния механического оборудования сооружений водохозяйственного комплекса	133
Руднева И. И., Медянкина М. В., Шайда В. Г. Оценка токсичности буровых растворов на морских бентосных ракообразных	140
Рыхликова М. Е. Опыт Российского образовательного проекта «Экологическое Содружество»: сочетание инновационных подходов с традиционными методами обучения	145
Салихов Д. Г., Гайфутдинова Н. Р., Выборнова И. Б., Галимзянов И. Г., Ефимова М. А., Шуралев Э. А. Оценка содержания тяжелых металлов в волосяном покрове крупного рогатого скота при контроле качества животноводческой продукции	152
Сасикова Н.С., Хаджиди А.Е., Самарцева А.С., Чижевская Н.А. Исследование качественных и количественных характеристик зооценозов рек западной части северного склона Крымского полуострова	156
Середа Л. Н., Цветов Н. С., Дрогобужская С. В., Жиров В. К. Изменение содержания суммы флавоноидов в <i>Vaccinium myrtillus</i> в градиенте техногенного загрязнения в центральной части Кольского полуострова	163
Статкевич С. В., Узлова В. В. Некоторые популяционные характеристики охраняемого вида – <i>Potamon ibericum</i> (Bieberstein, 1809) реки Бельбек	168
Сычев К. В., Низамов Р. Н., Гайнуллин Р. Р., Колочкова Е. В. Накопление и распределение меди (Cu ⁺) в организме пчел и продуктах пчеловодства в различных районах Республики Татарстан	174
Таранец И. П., Попова Л. В. Эколога-просветительский потенциал городских особоохраняемых природных территорий па примере заказника «Воробьёвы горы» (Москва).....	179
Третьякова А. Б., Валеева А. Р., Мукминов М. Н. Получение антигенных компонентов <i>Mycobacterium bovis</i> для потенциальной идентификации микробного сообщества в окружающей среде	187
Трусевич В. В., Журавский В. Ю. Опыт использования пресноводных двустворчатых моллюсков – перловицы в системах автоматизированного биосенсорного контроля нефтяного загрязнения вод в системах водоснабжения населения	193
Тюльпинова Н. В. Методология внедрения экологической компоненты в структуру и содержание лабораторно-практических занятий учебных дисциплин по программированию для инженерных направлений и профилей в техническом вузе	199
Федоров В. П. Медико-экологические аспекты церебральных последствий радиационных аварий.....	207
Хмелевская И. А. Микробиологические повреждения объектов культурного наследия на территории музея-заповедника «Михайловское» (Псковская область).....	215
Хучунаева Л. В. Оценка экологического состояния водных объектов вблизи полигона твердых коммунальных отходов (поселок Кашхатау, Кабардино-Балкарская Республика)	225
Черятова Ю. С., Ембатурова Е. Ю. Методологические основы экологического образования в аграрном вузе	232
Иванов С. П., Сволынский А. Д., Курамова В. В. Использование специальных приспособлений для изучения филлотаксиса соцветий и морфологии цветков охраняемых видов растений на примере орхидных (Orchidaceae)	238

CONTENT

Badin A. V., Suslyayev V. I., Sarkisyan A. S., Kazanin V. A., Lanin E. V., Yuzhakov M. S. Application of remote monitoring system of atmospheric parameters dynamics in the Siberian Botanical Garden of Tomsk State University	5
Bogaikova A. V., Silaeva J. G. Problems of improving the modern assortment of trees in Orel city	15
Vaskova E. A., Dmitriev V. V. Integral assessment of the ecological well-being of the natural-technogenic system "catchment - reservoir" of the Ivankovo reservoir.....	21
Glinskikh A. D. Biogeochemical features of forest-steppe pine forests in the Chelyabinsk region	30
Drozdenco T. V., Alexandrova S. M., Antal T. K. Phytoplankton and ecological state of the Peipsi-Pskov Lake.....	36
Ermakova O. D. Results of monitoring of cellulolytic activity of brown mountain forest soil of Khamar-Daban ridge (Southern Baikal region).....	44
Efremov V. A., Zuev V. A., Leus A. V., Mangazeev D. I., Radysh A. S., Kholodnyak I. V. Formation of animal registrations based on post-processing of data from camera traps.....	51
Istomin A. V. The role of early stages of post-logging successions in the maintenance of natural foci of leptospirosis in the central part of the Caspian-Baltic watershed.....	59
Istomin A. V., Istomina N. B. Protected areas of the Pskov Region as a basis for maintaining the biodiversity of a transboundary region	67
Kuchina E. E., Nazarenko N. N. Some aspects of environmental culture forming of future physical education instructors.....	74
Lisetskii F. N., Zelenskaya E. Ya. Differences in the content of heavy metals in the soils of the Southern coast of Crimea (spatio-temporal analysis)	81
Meshchurova T. A., Khodiashev M. B. On the establishment in the reference books of the BAT of technological indicators of the content of pollutants in the effluents of technological installations that affect the reduction of waste generation	92
Moskvitina N. S., Zhigalin A. V., Kovalevsky A. V. Dynamics and current status of ground squirrel species – <i>Marmota kastschenkoi</i> Stroganov et Yudin, 1956 and <i>Spermophilus erythrogegens</i> Brandt, 1841 – in the south-east of Western Siberia.....	99
Plakhotnyaya D. P., Kostyrev B. P., Racheiskov N. A., Shulga V. V., Buraeva E. A. Radioecological situation in urban and rural areas of Krasnodar Kray.	106
Popova L. V., Pikulenko M., M., Taranets I. P. Effective forms of an environmental enlightenment: the University' Saturdays for school students in the university museum	111
Popova N. N., Razakova M. V. The role of geological monuments in the conservation of bryophytes biodiversity in Ryazan region	118
Postarnak Yu. A., Litvinskaya S. A. Halophytic-nitrophyte communities of the <i>Cakile maritima</i> Tx. et Br.-Bl. Et Tx. 1952 littoral zone of the Sea of Azov (Verbianaya Spit, Krasnodar Territory).....	126

Romanova A. S., Bandurin M. A., Prikhodko I. A. Monitoring of the technical condition of mechanical equipment of water management complex structures	133
Rudneva I.I., Medaynkina M.V., Shaida V.G. Toxic evaluation of drilling fluids on marine Amphipoda	140
Rykhlikova M. E. The experience of the Russian educational project “Ecological Cooperation”: a combination of innovative approaches with traditional teaching methods	145
Salikhov D. G., Gaifutdinova N. R., Vybornova I. B., Galimzyanov I. G., Efimova M. A., Shuralev E. A. Estimation of the heavy metal content in the cattle hairline at the livestock product quality control	152
Sasikova N. S., Hadjidi A. E., Samartseva A. S., Chizhevskaya N. A. Research of qualitative and quantitative characteristics of zoocenoses of rivers in the western part of the northern slope of the Crimean Peninsula	156
Sereda L. N., Tsvetov N. S., Drogobuzhskaya S. V., Zhirov V. K. Changes in the content of the total flavonoids in the leaves and fruits of <i>Vaccinium myrtillus</i> blueberries in the gradient of technogenic pollution in the central part of the Kola Peninsula	163
Statkevich S. V., Uzlova V. V. Some population characteristics of protected species – <i>Potamon ibericum</i> (Bieberstein, 1809) of the Belbek River	168
Sychev K. V., Nizamov R. N., Gainullin R. R., Kolochkova E. V. Accumulation and redistribution of copper in honeybees and apiary products in different areas of the Tatarstan Republic	174
Taranets I. P., Popova L. V. Ecological and educational potential of urban protected areas and using ecological trails on the example of the Vorobyovy gory nature preserve in Moscow	179
Tretiakova A. B., Valeeva A. R., Mukminov M. N. Obtaining antigenic components of <i>Mycobacterium bovis</i> for potential identification of microbial community in the environment	187
Trusevich V. V.; Zhuravsky V. Yu. Experience of using the freshwater bivalve mollusks (<i>Unio pictorum</i>) as biosensors in systems for automated biosensor control of oil pollution of waters in public water supply systems	193
Tyulpinova N. V. Methodology for introduction the environmental component into the structure and content of laboratory and practical classes of academic disciplines in programming for engineering profiles in technical university	199
Fedorov V. P. Medico-ecological aspects of the cerebral consequences of radiation accidents	207
Khmelevskaya I. A. Microbiological damage to cultural heritage objects on the territory of the Mikhailovskoye Museum-Reserve (Pskov Region).	215
Khuchunaeva L. V. Assessment of the ecological state of water bodies near the municipal solid waste landfill (Kashkhatau village, Kabardino-Balkar Republic)	225
Cheryatova Yu. S., Yembaturova E. Yu. Methodological foundations of environmental education in agricultural university	232
Ivanov S. P., Svolynskiy A. D., Kuramova V. V. Using special adaptations to study phyllotaxis of inflorescences and flower morphology of protected plant species, using orchids (Orchidaceae) as an example	238