



Check for updates

<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-2-363-374><https://www.zoobank.org/References/E7D74627-9A79-498E-B982-A23CDE015534>

УДК 598.244.2

Загрязнение тяжелыми металлами среды обитания дальневосточного аиста *Ciconia boyciana* на Зейско-Буреинской равнине, Россия

А. А. Сасин✉, А. П. Пакулина, Н. В. Малиновский, Т. П. Платонова

Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, д. 86, 675005, г. Благовещенск, Россия

Сведения об авторах

Сасин Антон Александрович
E-mail: anton_160386@mail.ru
SPIN-код: 9512-1150
Scopus Author ID: 57347093600

Пакулина Антонина Павловна
E-mail: pakusina.a@yandex.ru
SPIN-код: 9958-4353
Scopus Author ID: 57204453453
ORCID: 0000-0001-5547-3444

Малиновский Никита Владимирович
SPIN-код: 8147-3003
ORCID: 0000-0002-0582-6368

Платонова Татьяна Павловна
E-mail: platonova.t00@mail.ru
SPIN-код: 4773-4974
Scopus Author ID: 57510125300
ResearcherID: ABA-3429-2020
ORCID: 0000-0002-9056-6846

Аннотация. На Зейско-Буреинской равнине находятся места гнездования и кормления дальневосточного аиста *Ciconia boyciana*. Отрицательное влияние на среду обитания дальневосточного аиста оказывает интенсивное использование сельскохозяйственных химикатов (пестицидов и минеральных удобрений) на полях, которые приводят к химическому загрязнению водно-болотных угодий. В ходе полевых обследований в воде обнаружены высокие концентрации ртути (до 0,137 мкг/л). Обнаружена корреляционная зависимость содержания ртути, кадмия и мышьяка в рыбе ротан-головешка *Percottus glenii* от их содержания в воде. Корреляционный анализ показал, что существует прямая связь между содержанием кадмия, ртути и мышьяка в рыбе и их содержанием в перьях птенцов дальневосточного аиста.

Права: © Авторы (2024). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Ключевые слова: среда обитания птиц, загрязнение тяжелыми металлами, водно-болотные угодья, гидрохимические показатели, дальневосточный аист, *Ciconia boyciana*, ротан-головешка, *Percottus glenii*

Heavy metal pollution of the Oriental stork *Ciconia boyciana* habitat on the Zeya-Bureya Plain, Russia

A. A. Sasin[✉], A. P. Pakusina, N. V. Malinovsky, T. P. Platonova

Far Eastern State Agrarian University, 86 Politechnicheskaya Str., 675005, Blagoveshchensk, Russia

Authors

Anton A. Sasin

E-mail: anton_160386@mail.ru

SPIN: 9512-1150

Scopus Author ID: 57347093600

Antonina P. Pakusina

E-mail: pakusina.a@yandex.ru

SPIN: 9958-4353

Scopus Author ID: 57204453453

ORCID: 0000-0001-5547-3444

Nikita V. Malinovsky

SPIN: 8147-3003

ORCID: 0000-0002-0582-6368

Tatyana P. Platonova

E-mail: platonova.t00@mail.ru

SPIN: 4773-4974

Scopus Author ID: 57510125300

ResearcherID: ABA-3429-2020

ORCID: 0000-0002-9056-6846

Copyright: © The Authors (2024).

Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Abstract. Zeya-Bureya Plain is home to nesting and feeding grounds of Oriental stork *Ciconia boyciana*. The Oriental stork habitat is negatively affected by the intensive use of agricultural chemicals (pesticides, herbicides and mineral fertilizers) in fields, which leads to chemical pollution of wetlands. During field surveys, high concentrations of mercury were found in water (up to 0.137 µg/l). We also discovered the correlation between the content of mercury, cadmium and arsenic in water and in Amur sleeper fish *Percottus glenii*. The correlation analysis also showed a direct connection between the content of cadmium, mercury and arsenic in fish and in the feathers of Oriental stork chicks.

Keywords: bird habitat, heavy metal pollution, wetlands, hydrochemical indicators, Oriental stork, *Ciconia boyciana*, Amur sleeper, *Percottus glenii*

Введение

Природные ландшафты Зейско-Буреинской равнины значительно изменились в результате сельскохозяйственной деятельности человека, что привело к сокращению ареалов и численности животных и растений. Серьезную озабоченность вызывает экологическое состояние водно-болотных угодий, которые расположены вблизи полей. В период наводнений и паводков водно-болотные угодья подвержены загрязнению поллютантами (Makhinov et al. 2021; Pakusina et al. 2022). На территории Зейско-Буреинской равнины обитают дальневосточный аист, шесть видов журавлей, мандаринка и другие редкие и исчезающие виды птиц. На данной территории птицы гнездятся, выводят потомство, останавливаются на пролете. Известно положительное влияние развития сельского хозяйства на численность птиц, например, пшеница и кукуруза, выращиваемые человеком, составляют значительную часть рациона питания журавлей (Hemminger et al. 2022).

Однако накопление тяжелых металлов в кормовой базе редких видов птиц представляет опасность их поступления по пищевой цепи в организмы птиц (Pakusina et al. 2018; Tereoka et al. 2018; Luo et al. 2022). Птицы используются для индикации экологического состояния окружающей среды. В перьях и во внутренних органах птиц обнаружены пестициды, которые используются в сельском хозяйстве, тяжелые металлы, обладающие токсичностью, пластик (Tsygankov et al. 2017; Roman et al. 2020; Varol, Tokatlı 2021). Экологический мониторинг проводится на охраняемых территориях, например, в государственных природных заповедниках и водно-болотных угодьях, которые включены в Рамсарскую конвенцию (Rahman et al. 2017; Xu et al. 2020; Pakusina et al. 2022).

Исследование мест гнездования и кормления дальневосточного аиста на Зейско-Буреинской равнине, которые располагаются вблизи полей и подвергаются воздействию деятельности человека, ранее не проводилось.

Целью данной работы является исследование влияния сельскохозяйственной деятельности на экологическое состояние мест обитания дальневосточного аиста на Зейско-Буреинской равнине по гидрохимическим показателям водно-болотной экосистемы и содержанию тяжелых металлов в кормовой базе и перьях дальневосточного аиста.

Методика и район исследования

Наблюдения велись за дальневосточными аистами, которых птенцами метили кольцами и GPS/GSM-передатчиками OrniTrack OT-E50 3G (производство Ornitela, Литва) в 2019 г. Передатчики представляют собой герметичное устройство массой 50 г, прикрепленное на спине аиста шлейкой из тефлоновой тесьмы, которое в постоянном режиме с интервалом в 10 минут снимает и записывает в память показания географических координат, температуры, интенсивности солнечного освещения и ускорения в трех измерениях. И после накопления все эти показания передаются на сервер Ornitela посредством сети GSM с интервалом в 12 или 48 часов,

откуда ими уже можно пользоваться, наблюдая за треками перемещения аистов и показаниями датчиков в виде графиков. Питается передатчик от двух миниатюрных солнечных батарей, а срок непрерывной работы рассчитан на 5 лет.

Три года шли наблюдения за перемещением меченых аистов по Амурской области, по другим регионам российского Дальнего Востока и по Китаю (Wang et al. 2020; Sasin et al. 2021). На третий год жизни аисты начали строить гнезда и заводить потомство. Для исследований выбрано три жилых гнезда. Гнездо №1 меченого дальневосточного аиста было расположено на березе плосколистной *Betula platyphylla* в Белогорском районе, гнездо №2 — на упавшем дереве в 3 км восточнее от первого гнезда, гнездо №3 — на березе плосколистной в Ивановском районе. В выбранных гнездах обследованы птенцы в возрасте 1,5–2 месяца, у которых на химический анализ брались по 2 пера. Для исследований условий и объектов питания аистов нас интересовали наиболее посещаемые места кормления в период гнездования отслеживаемых особей.

Таблица 1
Координаты мест отбора проб, указанных на картах
Table 1
Coordinates of sampling sites indicated on maps

№ точки на карте	Местонахождение и характер места отбора проб	Долгота	Широта
1	Белогорский район, лиман	128°4'15"	50°46'52"
2	Белогорский район, мелиоративный канал	128°4'12"	50°46'57"
3	Белогорский район, лиман	128°5'21"	50°46'58"
4	Белогорский район, мелиоративный канал	128°5'18"	50°47'7"
5	Белогорский район, лиман	128°4'37"	50°46'36"
6	Белогорский район, мелиоративный канал	128°3'39"	50°46'53"
7	Белогорский район, лиман	128°3'55"	50°46'27"
8	Ивановский район, лиман	127°57'1"	50°33'20"
9	Ивановский район, лиман	127°56'25"	50°33'33"
10	Ивановский район, лиман	127°56'11"	50°33'12"
11	Ивановский район, лиман	127°56'2"	50°33'10"
Гнездо №1	Белогорский район	128°3'55"	50°46'58"
Гнездо №2	Белогорский район	128°7'5"	50°46'42"
Гнездо №3	Ивановский район	127°56'30"	50°33'12"

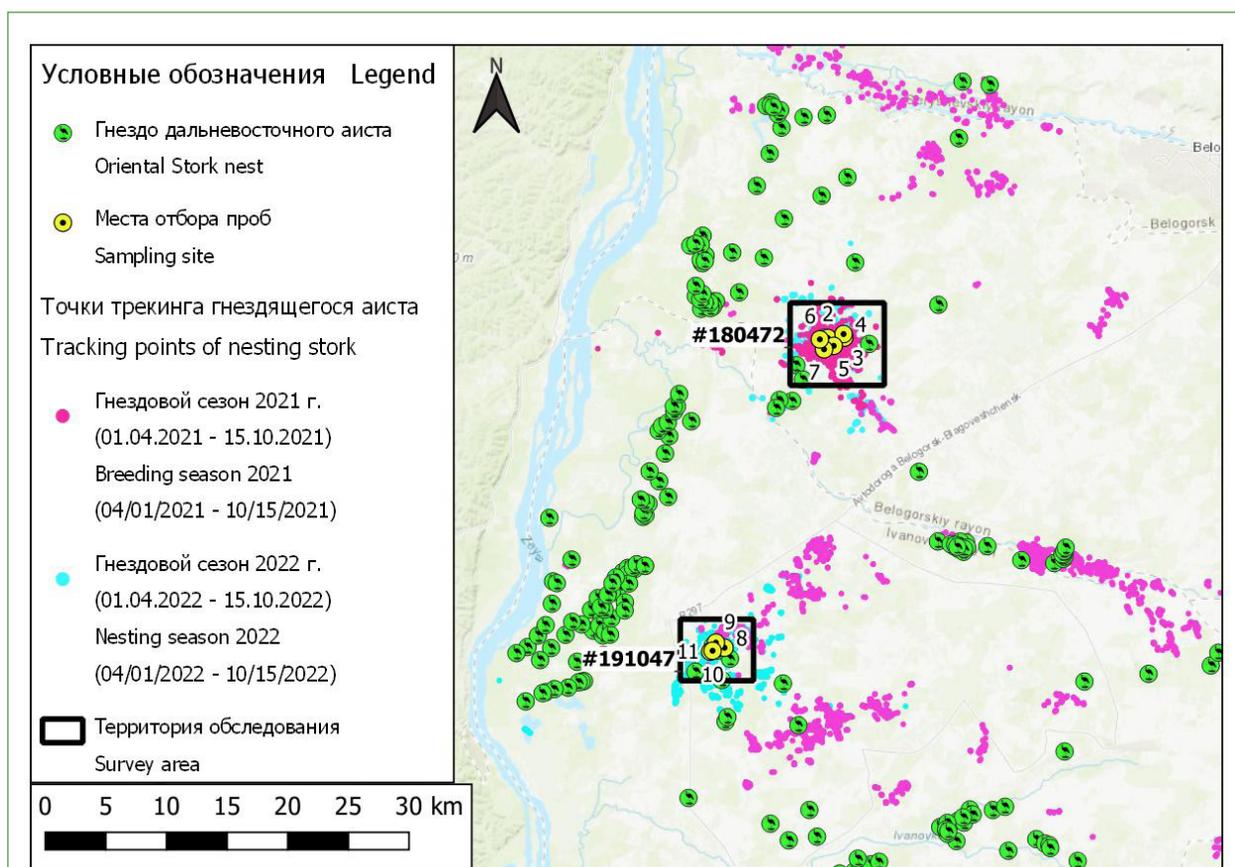


Рис. 1. Обзорная карта расположения мест отбора проб воды и объектов питания дальневосточного аиста на Зейско-Буреинской равнине в 2022 г.

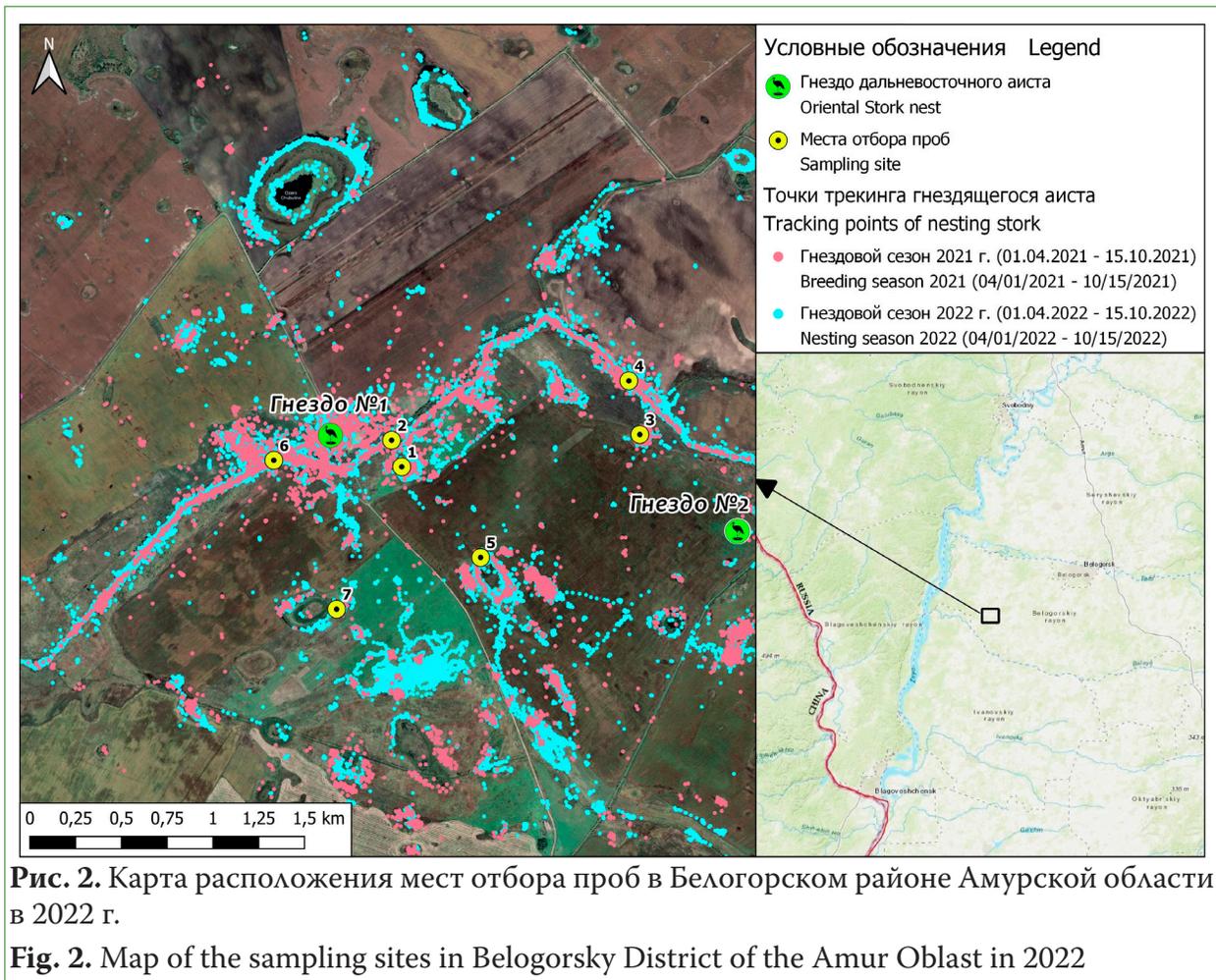
Fig. 1. Overview map of water sites and Oriental stork food items sampling locations on the Zeya-Bureya Plain in 2022

В качестве исходных данных для определения мест кормления аистов и мест отбора проб были использованы точки трекинга с GPS/GSM-передатчиков за гнездовой сезон 2021 и 2022 гг. (период с 01.04 по 15.10), отфильтрованные по скорости передвижения (≤ 2 км/ч), т. е. показывающие местонахождение аистов в состоянии покоя, кормления или пешего перемещения. В качестве мест отбора проб воды и объектов питания аистов были определены «лиманы» (лиманами на Зейско-Буреинской равнине называют заболоченные и обводненные понижения на полях или суходольных лугах диаметром от 50 до 500 м) и мелиоративные каналы, которые наиболее часто посещали аисты для кормежки (рис. 1, 2, 3). Координаты мест отбора проб и координаты гнезд указаны в таблице 1.

Воду в лиманах и мелиоративных каналах (всего 11 точек) отбирали для анализа ги-

дохимических показателей весной (06.05), летом (28.06) и осенью (14.09) 2022 г. Содержание тяжелых металлов изучали в рыбе ротан-головешка, которая входит в рацион питания дальневосточного аиста. Чтобы проследить накопление тяжелых металлов в организме птиц, определяли их содержание в перьях птенцов и взрослых особей.

Воду отбирали в непрозрачные канистры из полимерного материала. На месте отбора консервировали пробы для определения растворенного кислорода. Воду анализировали в первые двое суток по существующим ГОСТам РФ с использованием титриметрического, потенциометрического, спектрофотометрического методов. Рыбу ловили сачком. Воду хранили при температуре $+3^{\circ}\text{C}$ в холодильнике, образцы рыбы до анализа хранили при температуре -18°C в морозильной камере. В лаборатории образцы рыбы размораживали, про-



мывали бидистиллированной водой. Пробоподготовку для определения тяжелых металлов в рыбе и в перьях птиц проводили в микроволновой печи MultiwaveGo (производитель Anton Paar, Австрия) с выдерживанием пробы при температуре 170°C в течение 1,5 часа с использованием окислителей (HNO_3 и H_2O_2). Перья птиц предварительно тщательно промывали этанолом и 10%-ным раствором карбоната натрия, затем бидистиллированной водой и сушили при температуре 85°C. Тяжелые металлы в объектах определяли на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ Z с пламенной атомизацией проб.

Результаты исследований

Близкое соседство лиманов и мелиоративных каналов с полями представляет угрозу попадания в воду загрязняющих веществ с поверхностных слоев почв во время летних дождей.

Активная среда воды весной и летом была в норме ($\text{pH} = 6,8\text{--}8,4$), однако осенью в точках отбора 10 и 11 достигала 9,6.

В воде отмечено высокое содержание кислорода в течение всего вегетационного периода, однако летом в точке 2 насыщение воды составило 36%. Летом в лиманах наблюдалось эвтрофирование: при высоких значениях БПК₅ (4,7–7,9 мг $\text{O}_2/\text{л}$) содержание растворенного кислорода оставалось высоким (9,3–16,0 мг $\text{O}_2/\text{л}$). Значение перманганатной окисляемости воды было очень высоким в течение всего периода наблюдений (рис. 4) и свидетельствовало о присутствии в воде трудноокисляемых органических веществ.

В качестве приоритетной формы азота в воде присутствовал аммонийный азот весной в количестве 0,09–0,38 мг/л, летом — 0,23–0,24 мг/л, осенью — 0,27–0,38 мг/л. Содержание ортофосфатов в воде весной не превышало 0,043 мг/л,

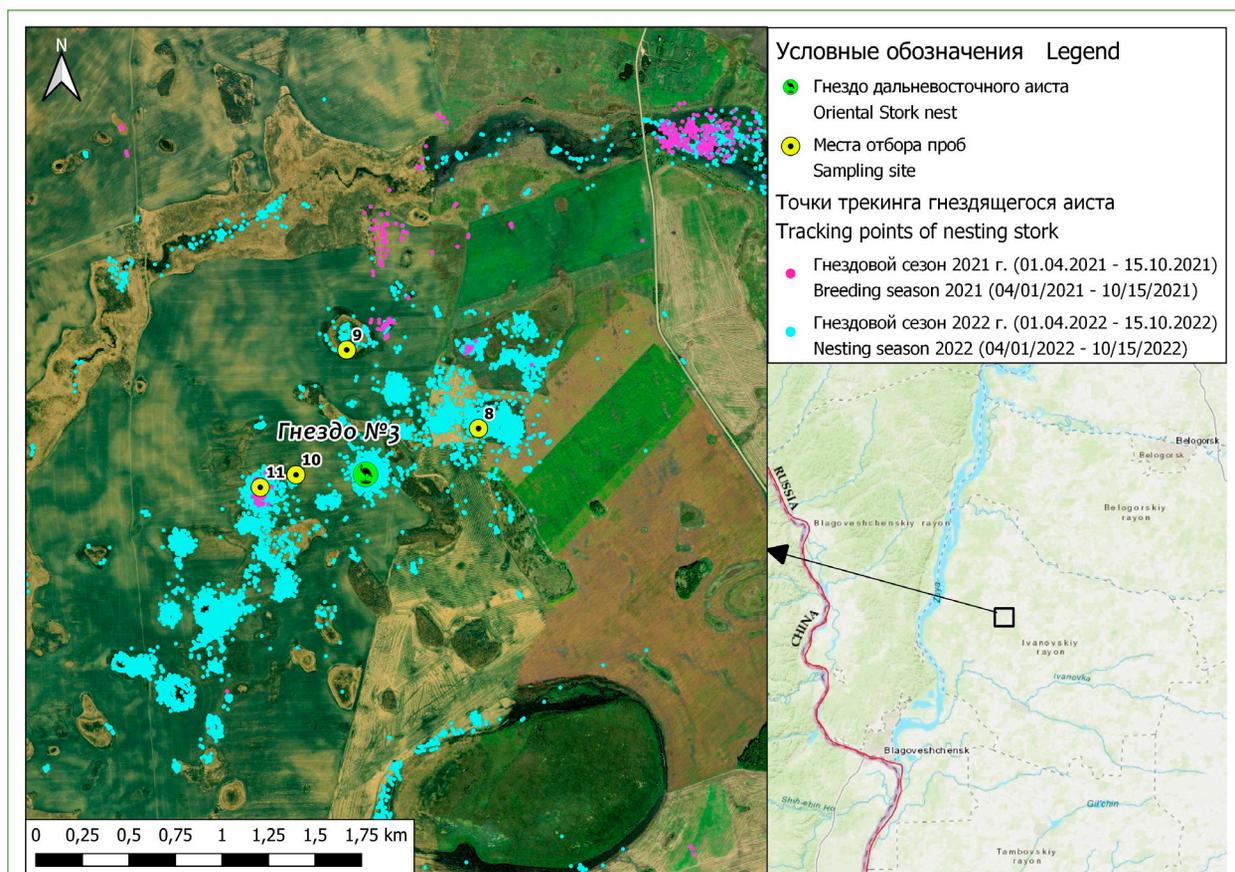


Рис. 3. Карта расположения мест отбора проб в Ивановском районе Амурской области в 2022 г.

Fig. 3. Map of the sampling sites in Ivanovsky District of the Amur Oblast in 2022

летом увеличивалось до 0,100 мг/л, осенью было минимальным. В воде лиманов и мелиоративных каналов отмечалось

высокое природное содержание общего железа (до 0,57 мг/л) и марганца (до 0,45 мг/л).

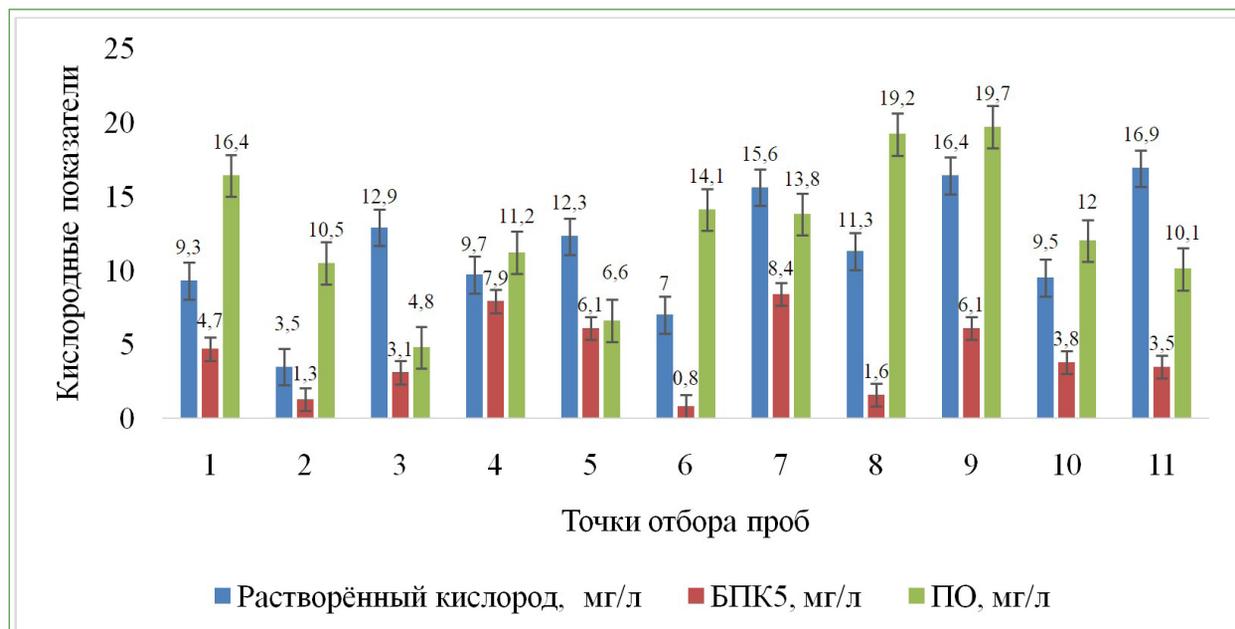


Рис. 4. Кислородные показатели воды в точках отбора проб летом 2022 г.

Fig. 4. Oxygen indicators of water at sampling points in the summer of 2022

Образцы воды относятся к маломинерализованным, о чем свидетельствуют невысокие значения удельной электропроводности (УЭП). Весной и летом УЭП воды была 70–167 мкСм/см, осенью уменьшилась до 105 мкСм/см. Образцы воды являются мягкими, поскольку общая жесткость воды составляла не более 1,75 мг-экв/л. Невысокие значения УЭП и жесткости воды являются факторами, способствующими увеличению биодоступности металлов для гидробионтов (Davydova et al. 2016).

В своих исследованиях мы уделили пристальное внимание таким микроэлементам, как свинец, кадмий, ртуть и мышьяк (табл. 2), так как они проявляют высокую токсичность для живых организмов. В 80-е гг. в Амурской области применяли ртутьсодержащие пестициды, например гранозан. Хотя с 90-х гг. он запрещен к применению, но в окружающей среде ртуть как опасный экотоксикант продолжает присутствовать. Кроме того, использование удобрений и пестицидов является источником поступления, например, свинца и кадмия в почву. В период паводков и наводнений загрязняющие вещества, в том числе и токсичные металлы, выносятся с поверхностных слоев почв в воду.

Содержание ртути в воде лиманов и мелиоративного канала значительно превышало рыбохозяйственный норматив (0,01 мкг/л) и достигало весной $0,089 \pm 0,031$ мкг/л, в летний период $0,165 \pm 0,058$ мкг/л. Содержание свинца, кадмия и мышьяка в воде лиманов и

мелиоративного канала не превышало ПДК (табл. 2). Известно, что в период наводнения 2021 г. в малых реках Зейско-Буреинской равнины отмечалось чрезвычайно высокое содержание свинца (6,6 ПДК) и кадмия (2 ПДК) (Pakusina et al. 2022).

Содержание тяжелых металлов в рыбе

Содержание металлов в рыбе мы изучали на примере ротана-головешки (табл. 3). Эта рыба встречается повсеместно, она является одним из основных объектов питания аистов. Рыба способна аккумулировать из воды тяжелые металлы, причем в голове накапливается свинца и кадмия больше, чем в грудной и хвостовой части (Luo et al. 2013). Luo с сотрудниками нашли корреляционную зависимость между содержанием свинца и кадмия в донных отложениях и в рыбе ротан-головешка (Luo et al. 2013). Нами с помощью корреляционного анализа обнаружена прямая значимая связь между содержанием ртути, кадмия и мышьяка в мышечной ткани рыбы и их концентрацией в воде (рис. 5, 6, 7). В мышечной ткани рыбы обнаружено повышенное содержание кадмия (ПДК = 0,2 мг/кг), ртути (ПДК = 0,3–0,6 мг/кг), свинца (ПДК = 1 мг/кг), мышьяка (ПДК = 1 мг/кг).

Содержание тяжелых металлов в перьях дальневосточного аиста

Птицы широко используются для экологического мониторинга окружающей среды посредством изучения содержания тяжелых металлов в перьях, скорлупе

Таблица 2
Среднее содержание металлов и мышьяка в воде лиманов и мелиоративных каналов (мкг/л)

Table 2
Average content of metals and arsenic in water of swampy lowlands and reclamation canals (µg/l)

Хим. элемент	Точки отбора проб (номер на карте)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pb	1,279	0,455	1,994	1,739	0,437	1,603	3,346	5,293	0,404	0,472	0,270
Cd	0,089	0,103	0,069	0,032	0,073	0,042	0,023	0,026	0,066	0,095	0,123
As	1,196	1,306	1,012	5,652	3,322	1,555	2,187	1,300	1,306	2,577	4,088
Hg	0,073	0,079	0,064	0,075	0,062	0,072	0,123	0,165	0,089	0,121	0,137

Таблица 3

Среднее содержание металлов и мышьяка в мышечной ткани ротана-головёшки (мг/кг; n = 5)

Table 3

Average content of metals and arsenic in the muscle tissue of Amur sleeper (mg/kg; n = 5)

Хим. элемент	Точки отбора проб										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pb	0,125	0,135	1,926	0,668	0,339	0,136	0,216	0,322	0,602	0,282	0,246
Cd	0,192	0,265	0,159	0,108	0,189	0,089	0,106	0,134	0,184	0,196	0,269
As	1,108	1,158	1,179	2,362	1,119	1,245	1,394	1,199	0,992	1,191	1,449
Hg	0,168	0,288	1,330	0,254	0,127	0,201	0,305	0,367	0,296	0,288	0,330

яиц, в крови, печени, мышцах, костях птиц (Pakusina et al. 2018; 2022; Svendsen et al. 2018; Mukhtar et al. 2020; Luo et al. 2022). По содержанию тяжелых металлов в перьях птиц можно определить место их гнездования или зимовки. По перьям можно получить информацию об эндогенном загрязнении, так как перья контактируют с кровеносной системой в период роста и развития птенца. Концентрация загрязняющих веществ в перьях может значительно отличаться от их содержания во внутренних органах птиц, поэтому перья используют для установления техногенной нагрузки в среде обитания птиц (Luo et al. 2013; Tsygankov et al. 2017).

В гнезде №1 в Белогорском районе находились четыре птенца. В гнезде №2, упавшем с дерева, два птенца погибли, а два остались живыми. В гнезде №3 в Ивановском районе находились три птенца. У всех птенцов были измерены вес и размеры частей тела (длина тела, хвоста, клюва, головы, крыльев и другие пока-

затели). На каждом птенце были установлены металлическое и пластиковое кольца и GPS/GSM-передатчик, чтобы наблюдать за поведением и передвижением птиц. Для анализа на содержание тяжелых металлов у каждого птенца было отобрано по два пера под крылом весом 0,2 г.

Содержание тяжелых металлов в перьях взрослых птиц значительно отличается от содержания этих поллютантов в перьях птенцов. В перьях взрослых птиц было обнаружено: свинца — $0,3210 \pm 0,1123$ мг/кг, кадмия — $0,0980 \pm 0,0343$ мг/кг, мышьяка — $0,1526 \pm 0,0534$ мг/кг, ртути — $0,0585 \pm 0,0205$ мг/кг. В перьях взрослых птиц гораздо выше содержание металлов и мышьяка, так как они аккумулируются в организме птиц. Взрослые птицы были снабжены GPS/GSM-передатчиками в 2019 г., и их перья несут информацию с различных мест обитания, так как это перелетные птицы. В перьях птенцов возрастом примерно 2 месяца свинец почти отсутствует. Для птен-

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в перьях птенцов дальневосточного аиста в Белогорском районе (гнездо №1)

Table 4

Content of heavy metals in the feathers of Oriental stork chicks in the Belogorsky District (nest No 1)

Вес птенца (г)	Cd ±	Pb ±	As ±	Hg ±
4815	0,0935 ±	0,0786 ±	0,1159 ±	0,0076 ±
5080	0,1090 ±	ниже предела обнаружения	0,1246 ±	0,0106 ±
5100	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	0,0615 ±	0,0074 ±
5300	0,0550 ±	ниже предела обнаружения	0,0848 ±	0,0070 ±

Таблица 5
Содержание тяжелых металлов в перьях птенцов дальневосточного аиста в Белогорском районе (гнездо №2)

Table 5
Content of heavy metals in the feathers of Oriental stork chicks in the Belogorsky District (nest No 2)

Вес птенца (г)	Cd ±	Pb ±	As ±	Hg ±
2910	0,0638 ±	ниже предела обнаружения	0,1095 ±	0,0098 ±
2930	0,0510 ±	ниже предела обнаружения	0,1082 ±	0,0056 ±

цов каждого гнезда в ходе исследования отмечена закономерность: чем меньше вес птенца, тем выше содержание тяжелых металлов (табл. 4, 5, 6). Это может указывать на то, что кадмий, мышьяк и ртуть отрицательно влияют на рост и развитие птенцов дальневосточного аиста. Корреляционную зависимость мы рассчитать не смогли, так как на рост и развитие птенцов влияют и другие факторы, например, возраст, кормовая база и прочие. Содержание тяжелых металлов в перьях птенцов первого года жизни объективно характеризует экологическое состояние мест обитания дальневосточного аиста.

В перьях птенцов дальневосточного аиста в гнезде, расположенном в Ивановском районе (табл. 6), содержание кадмия, мышьяка и ртути значительно выше, чем у птенцов в гнездах в Белогорском районе. Причины этого пока не ясны, требуются более детальные исследования кормовых и гнездовых стаций на данной территории.

Содержание кадмия, ртути и мышьяка в перьях птиц зависит от содержания этих поллютантов в рыбе, которой питаются аисты (рис. 8, 9, 10).

Заключение

Места гнездования и обитания дальневосточного аиста на Зейско-Буреинской равнине подвергаются негативному влиянию сельского хозяйства. В водно-болотные угодья, расположенные рядом с полями, попадают загрязняющие вещества. В летний период в кормовых водоемах наблюдается эвтрофирование. В воде концентрация ртути превышает рыбохозяйственный норматив. В кормовых объектах (в рыбе) дальневосточного аиста в местах, граничащих с полями, обнаружено повышенное содержание кадмия, мышьяка и ртути. Содержание мышьяка, ртути и кадмия в мышечной ткани ротана-головешки зависит от их концентрации в воде. Корреляционный анализ показал, что существует прямая значимая

Таблица 6
Содержание тяжелых металлов в перьях птенцов дальневосточного аиста в Ивановском районе (гнездо №3)

Table 6
Content of heavy metals in the feathers of Oriental stork chicks in the Ivanovsky District (nest No 3)

Вес птенца (г)	Cd ±	Pb ±	As ±	Hg ±
3550	0,1503 ±	ниже предела обнаружения	0,2045 ±	0,0195 ±
3800	0,1233 ±	ниже предела обнаружения	0,1208 ±	0,0083 ±
4305	ниже предела обнаружения	ниже предела обнаружения	0,1019 ±	0,0076 ±

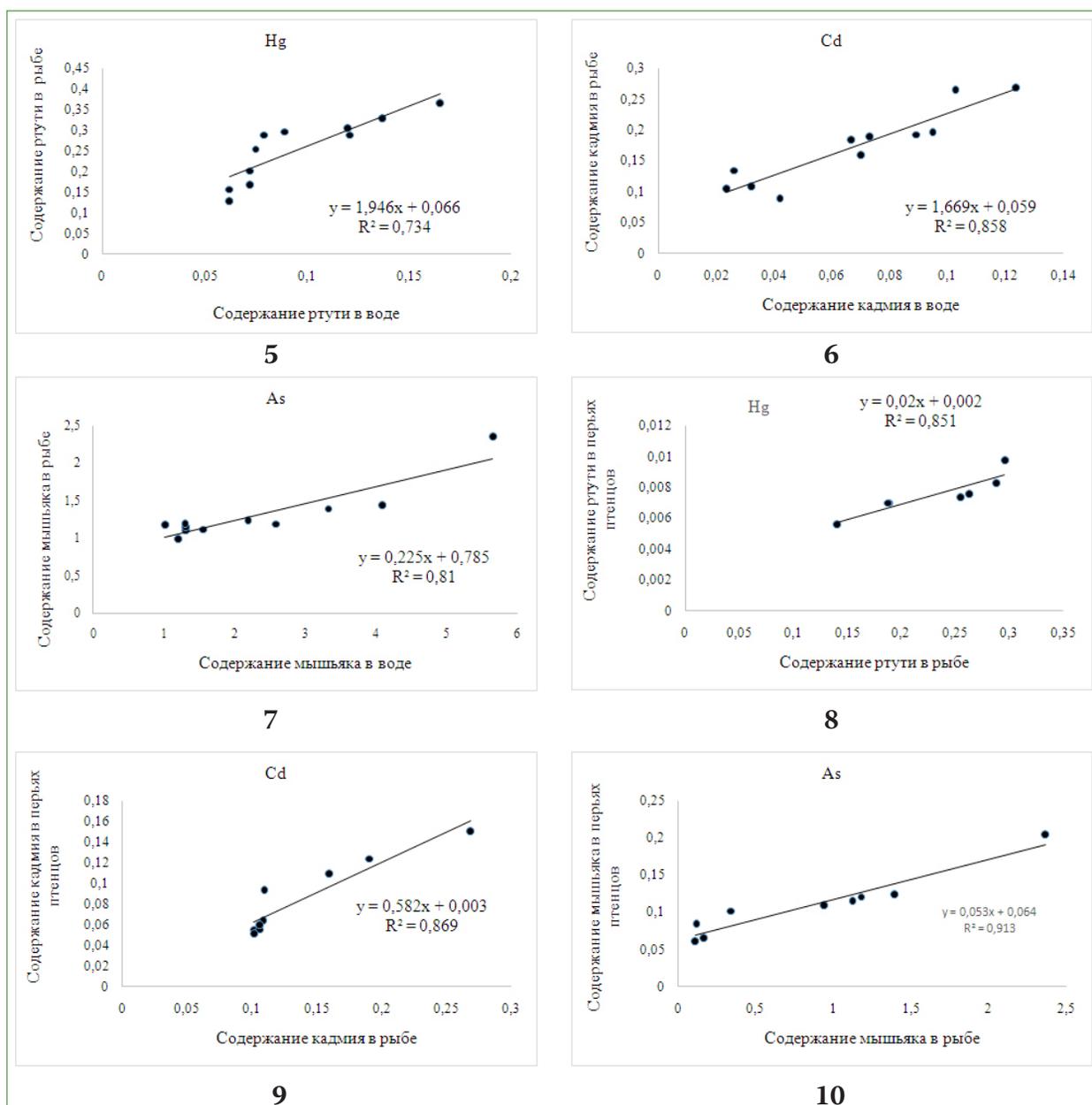


Рис. 5–10. 5 — корреляционная зависимость между содержанием ртути в воде и в мышечной ткани рыбы ротан-головёшка; 6 — корреляционная зависимость между содержанием кадмия в воде и в мышечной ткани рыбы ротан-головёшка; 7 — корреляционная зависимость между содержанием мышьяка в воде и в мышечной ткани рыбы ротан-головёшка; 8 — корреляционная зависимость между содержанием ртути в рыбе ротан-головёшка и в перьях птенцов дальневосточного аиста; 9 — корреляционная зависимость между содержанием кадмия в рыбе ротан-головёшка и в перьях птенцов дальневосточного аиста; 10 — корреляционная зависимость между содержанием мышьяка в рыбе ротан-головёшка и в перьях птенцов дальневосточного аиста

Fig. 5–10. 5 — correlation between mercury content in water and in muscle tissue of Amur sleeper; 6 — correlation between cadmium content in water and in muscle tissue of Amur sleeper; 7 — correlation between arsenic content in water and in muscle tissue of Amur sleeper; 8 — correlation between mercury content in Amur sleeper and feathers of Oriental stork chicks; 9 — correlation between cadmium content in Amur sleeper and feathers of Oriental stork chicks; 10 — correlation between arsenic content in Amur sleeper and feathers of Oriental stork chicks

связь между содержанием кадмия, ртути и мышьяка в рыбе и их содержанием в перьях птенцов дальневосточного аиста. Содержание тяжелых металлов в перьях птенцов первого года жизни характеризует экологическое состояние мест обитания дальневосточного аиста и свидетельствует о пагубном влиянии массового использования химических удобрений и ядохимикатов на сельскохозяйственных землях вблизи водно-болотных угодий и водоемов.

References

- Davydova, O. A., Korovina, E. V., Vaganova, E. S. et al. (2016) Fiziko-khimicheskie aspekty migratsionnykh protsessov tyazhelykh metallov v prirodnykh vodnykh sistemakh [Physical-chemistry aspects of migratory processes of heavy metals in natural aqueous systems]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Khimiya" — Bulletin of the South Ural State University. Series "Chemistry"*, vol. 8, no. 2, pp. 40–50. <https://doi.org/10.14529/chem160205> (In Russian)
- Hemminger, K., König, H., Månsson, J. et al. (2022) Winners and losers of land use change: A systematic review of interaction between the world's crane species (*Gruidae*) and the agricultural sector. *Ecology and Evolution*, vol. 12, no. 3, article e8719. <https://doi.org/10.1002/ece3.8719> (In English)
- Luo, J., Yin, X., Ya, Y. et al. (2013) Pb and Cd bioaccumulations in the habitat and preys of red-crowned cranes (*Grus japonensis*) in Zhalong Wetland, Northeastern China. *Biological Trace Element Research*, vol. 156, no. 1-3, pp. 134–143. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9837-y> (In English)
- Luo, J., Zhang, W., Bai, L. et al. (2022) Characterization of the trophic transfer and fate of methylmercury in the food web of Zhalong Wetland, Northeastern China. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 17, pp. 25222–25233. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17675-0> (In English)
- Makhinov, A. N., Makhinova, A. F., Liu, S. (2021) Impact assessment of solid runoff on heavy metals migration during high floods on the Amur river. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 895, article 012025. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17675-0> (In English)
- Mukhtar, H., Chan, C.-Y., Lin, Y.-P., Lin, C.-M. (2020) Assessing the association and predictability of heavy metals in avian organs, feathers, and bones using crowdsourced samples. *Chemosphere*, vol. 252, article 126583. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126583> (In English)
- Pakusina, A. P., Platonova, T. P. (2022) Izmenenie gidrokhimicheskikh pokazatelej malykh rek sel'skokhozyajstvenno osvoennoj territorii v period navodneniya 2021 goda [Changes in the hydrochemical indicators of the small rivers in the agriculturally developed territory during the flood period of 2021]. *Problemy regional'noj ekologii — Regional Environmental Issues*, no. 1, pp. 125–128. (In Russian)
- Pakusina, A. P., Platonova, T. P., Lobarev, S. A., Smirenski, S. M. (2018) Chemical and ecological characteristics of lakes located in the Muraviovka Park. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, vol. 15, no. 4, pp. 27–34. (In English)
- Pakusina, A. P., Platonova, T. P., Parilova, T. et al. (2022) Ecological and chemical assessment of the habitats of cranes in the Khingan State Nature Reserve, Russia. In: A. Muratov, S. Ignateva (eds.). *Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East. Agricultural innovation systems. Vol. 1*. Ussuriysk: Springer Publ., pp. 658–666. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8_73 (In English)
- Pakusina, A. P., Tsarkova, M. F., Platonova, T. P., Kolesnikova, T. P. (2022) Characteristics of the Zavitaya River in terms of hydrochemical and microbiological indicators during the flood of 2021. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 981, article 042068. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042068> (In English)
- Rahman, F., Ismail, A., Omar, H., Hussin, M. Z. (2017) Exposure of the endangered Milky stork population to cadmium and lead via food and water intake in Kuala Gula Bird Sanctuary, Perak Malaysia. *Toxicology Reports*, vol. 4, pp. 502–506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.09.003> (In English)
- Roman, L., Kastury, F., Petit, S. et al. (2020) Plastic, nutrition and pollution; relationships between ingested plastic and metal concentrations in the livers of two *Pachyptila* seabirds. *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, article 18023. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75024-6> (In English)
- Sasin, A. A., Parilov, M. P., Serdyuk, A. Yu. (2021) Rezul'taty ucheta dal'nevostochnogo aista (*Ciconia boyciana* Swinhoe) v Amurskoj oblasti v 2018–2019 gg. [Oriental stork (*Ciconia boyciana* Swinhoe) breeding population survey in the Amur region in 2018–2019]. *Amurskij zoologicheskij zhurnal — Amurian Zoological Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 89–104. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2021-13-1-89-104> (In Russian)

- Sasin, A. A., Serdyuk, A. Yu., Zhu, B., Zhao, Q. (2021) Individual tracking reveals first breeding of Oriental storks at age 2 years in the wild. *Avian Research*, vol. 12, no. 1, article 64. <https://doi.org/10.1186/s40657-021-00301-5> (In English)
- Svendsen, N. B., Herzke, D., Harju, M. et al. (2018) Persistent organic pollutants and organophosphate esters in feathers and blood plasma of adult kittiwakes (*Rissa tridactyla*) from Svalbard — associations with body condition and thyroid hormones. *Environmental Research*, vol. 164, pp. 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.012> (In English)
- Tereoka, H., Miyagi, H., Haraguchi, Y. et al. (2018) Contamination status of seven elements in hooded cranes wintering in South-West Kyushu, Japan: Comparison with red-crowned cranes in Hokkaido, Japan. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 75, no. 4, pp. 557–565. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0541-y> (In English)
- Tsygankov, V. Yu., Boyarova, M. D., Lukyanova, O. N., Khristoforova, N. K. (2017) Bioindicators of organochlorine Pesticides in the Sea of Okhotsk and the Western Bering Sea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 73, no. 2, pp. 176–184. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0380-2> (In English)
- Varol, M., Tokatli, C. (2021) Impact of paddy fields on water quality of Gala Lake (Turkey): An important migratory bird stopover habitat. *Environmental Pollution*, vol. 287, article 117640. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117640> (In English)
- Wang, Y., Xie, Ya., Batbayar, N. et al. (2020) Discussion of existing protection of three waterbirds' habitats in the Yellow River basin nature reserve, based on satellite tracking. *Biodiversity Science*, vol. 28, no. 12, pp. 1483–1495. <https://doi.org/10.17520/biods.2020328> (In English)
- Xu, P., Zhang, X., Zhang, F. et al. (2020) Use of aquaculture ponds by globally endangered red-crowned crane (*Grus japonensis*) during the wintering period in the Yancheng National Nature Reserve, a Ramsar wetland. *Global Ecology and Conservation*, vol. 23, article e01123. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01123> (In English)

Для цитирования: Сасин, А. А., Пакузина, А. П., Малиновский, Н. В., Платонова, Т. П. (2024) Загрязнение тяжелыми металлами среды обитания дальневосточного аиста *Ciconia boyciana* на Зейско-Буреинской равнине, Россия. *Амурский зоологический журнал*, т. XVI, № 2, с. 363–374. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-2-363-374>

Получена 7 февраля 2024; прошла рецензирование 14 марта 2024; принята 16 апреля 2024.

For citation: Sasin, A. A., Pakusina, A. P., Malinovsky, N. V., Platonova, T. P. (2024) Heavy metal pollution of the Oriental stork *Ciconia boyciana* habitat on the Zeya-Bureya Plain, Russia. *Amurian Zoological Journal*, vol. XVI, no. 2, pp. 363–374. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-2-363-374>

Received 7 February 2024; reviewed 14 March 2024; accepted 16 April 2024.