Raptor Conservation

ОХРАНА ПЕРНАТЫХ ХИЩНИКОВ

Electrocutions of Birds on Power Lines in the Khakassia Republic, Russia, in 2020

ГИБЕЛЬ ПТИЦ НА ЛЭП В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ (РОССИЯ) В 2020 ГОДУ

Shnayder E.P., Nikolenko E.G., Karyakin I.V. (Sibecocenter LLC, Novosibirsk, Russia)
Шнайдер Е.П., Николенко Э.Г., Карякин И.В. (ООО «Сибэкоцентр», Новосибирск, Россия)

Контакт:

Елена Шнайдер
ООО «Сибэкоцентр»
Россия 630090
Новосибирск, а/я 547
тел.: +7 913 795 65 49
equ001@gmail.com

Игорь Карякин
ООО «Сибэкоцентр»
Россия 630090
Новосибирск, а/я 547
тел.: +7 923 154 32 95
ikar_research@mail.ru

Эльвира Николенко
ООО «Сибэкоцентр»
Россия 630090
Новосибирск, а/я 547
тел.: +7 923 150 12 79
elvira_nikolenko@mail.ru

Contact:

Elena Shnayder
LLC Sibecocenter
P.O. Box 547 Novosibirsk
Russia 630090
tel.: +7 913 795 65 49
equ001@gmail.com

Igor Karyakin
LLC Sibecocenter
P.O. Box 547 Novosibirsk
Russia 630090
tel.: +7 923 154 32 95
ikar_research@mail.ru

Elvira Nikolenko
LLC Sibecocenter
P.O. Box 547 Novosibirsk
Russia 630090
tel.: +7 923 150 12 79
elvira_nikolenko@mail.ru

Резюме

В статье приводятся результаты обследования линий электропередачи (ЛЭП) на предмет гибели птиц в Минусинской котловине Республики Хакасия в 2020 г. В ходе работы проведена оценка того, насколько сильно изменилась ситуация с гибелью птиц на ЛЭП за последние 10 лет, посчитан ущерб от незаконной эксплуатации ЛЭП, не оснащённых ПЗУ, а также даны предложения по минимизации ущерба. Выяснено, что в Хакасии сохраняется высокий уровень гибели птиц на ЛЭП 6–10 кВ – в среднем 8,21 ос./км линий за гнездовой сезон (от 5,26 до 25,22 ос./км линий за сезон). Наиболее опасными являются ЛЭП с бетонными опорами, оснащёнными заземлёнными металлическими траверсами со штыревыми изоляторами, расположенные в открытых местобитаниях вдали от населённых пунктов – на них большое видовое разнообразие и высокий процент пернатых хищников. Особенно опасны короткие линии, выдающиеся в окружающий ландшафт, и отрезки линий, идущие по холмистому рельефу. Среди гибнущих на ЛЭП птиц доминируют врановые (66%), доля хищных птиц составляет 28%, среди которых в первую очередь гибнут обычные виды, такие как пустельга (*Falco tinnunculus*) – 17,7% от общего числа погибших птиц, и коршун (*Milvus migrans*) – 6,5%, что характерно в целом для лесостепной зоны России. Ущерб от гибели птиц на осмотренных 111,5 км ПО ЛЭП составил 18,1 млн. руб. Общий уровень гибели птиц на ПО ЛЭП Хакасии превышает 3252 ос. в год, а общий ущерб – 64 171 440 руб. в год. Средний ущерб на одну опору по результатам фактических проверок составил 10 485,6 руб., что как минимум в 10 раз выше, чем стоимость комплекта ПЗУ на одну опору.

Ключевые слова: хищные птицы, пернатые хищники, ЛЭП, электропоражение, Хакасия.

Поступила в редакцию: 20.12.2020 г. **Принята к публикации:** 30.12.2020 г.

Abstract

The article represents results of inspection of power lines for bird casualty in the Minusinsk Hollow, Khakassia, Russia in 2020. Previous inspection was done in the region in 2011 thus our work reveals changes in bird casualty over the last 10 years. The bird mortality on power lines of medium voltage remains remarkably high – mean value for the breeding season is 8.21 ind. per 1 km of line. The most dangerous lines are the ones on concrete poles with pin insulators located in open habitats, away from human settlements. Lines of this type attract vast abundance of birds with high species diversity, including high percentage of birds of prey and owls. Short lines protruding in the open terrain and parts of lines running through hilly landscapes are of extreme danger. Electrocuted birds are mostly represented by Corvids (66%). Raptors made 28% of the total, represented mostly by the common species such as Kestrel (*Falco tinnunculus*) – 17.7% and Black Kite (*Milvus migrans*) – 6.5%, that is characteristic for the forest-steppe zone of Russia. Total damage done to nature by 111.5 km of surveyed power lines was accounted for RUB 18,100,000 (about EUR 204,000 or USD 243,770). The overall damage which could be caused by the power network of Khakassia was estimated as RUB 64,171,440 per year (that is equal to EUR 723,310 or USD 864,246). This involves death of more than 3,252 birds per year in one small republic. The damage caused by one electricity pole calculated by the actual results of inspection was RUB 10,485.6, that is at least 10 times higher than the cost of a set of bird-protection devices for a pole. At the end of the article, we gave our recommendations for minimizing the damage.

Keywords: birds of prey, raptors, power lines, electrocution, Khakassia.

Received: 20/12/2020. **Accepted:** 30/12/2020.

DOI: 10.19074/1814-8654-2020-41-26-63

Введение

Республика Хакасия – небольшой субъект РФ (площадь 61,9 тыс. км²) в Горах Южной Сибири, территориально входящий в Алтае-Саянский экорегион, характеризующийся высоким уровнем биоразнообразия (Байков и др., 2003). В связи с высокой численностью многих редких видов

Introduction

Republic of Khakassia is a small subject of the Russian Federation (61,900 km²) at the south of Siberia. It is a part of the Altai-Sayan Ecoregion that is known for extremely high biodiversity (Baykov *et al.*, 2003). Rare species of raptors are also present here in high numbers (Karyakin *et al.*, 2015; Savchenko *et al.*, 2020). The main

хищных птиц, обитающих на территории Хакасии (Карякин и др., 2015; Савченко и др., 2020), приоритетной задачей для их сохранения является нейтрализация негативных антропогенных факторов. Важнейшим из таких факторов, оказывающим основное элиминирующее влияние на популяции редких видов птиц, является их гибель в результате электропоражения на линиях электропередачи (ЛЭП) (Салтыков, 2014). Причём для ряда таких глобально угрожаемых видов, как степной орёл (*Aquila nipalensis*) и балобан (*Falco cherrug*), крупные гнездовые группировки которых всё ещё сохраняются в Хакасии (Карякин и др., 2018a; 2019a), гибель на ЛЭП является одним из основных факторов, ведущих к сокращению численности их популяций в глобальном масштабе (Ковач и др., 2014; Карякин и др., 2016b).

Первое обследование ЛЭП в Республике Хакасия на предмет выявления гибели хищных птиц с целью подготовки рекомендаций по оснащению этих ЛЭП птице-защитными устройствами (ПЗУ) проводилось десять лет назад – в 2010 г. на севере Минусинской котловины – в Орджоникидзевском и Богградском районах Хакасии, а также в Ужурском районе Красноярского края (Николенько, 2011). Тогда было проверено 14,3 км ЛЭП и оценена средняя плотность гибели птиц, которая составила 7,02 ос/км ЛЭП. Общий ущерб был оценен не менее чем в 408 тыс. руб. В работе 2010 г. было установлено, что на линиях, ведущих к вышкам сотовой связи, протянувшимся, как правило, к возвышенностям, по ненарушенным местообитаниям, гибнет в 2–2,6 раза больше птиц, чем на межпоселковых линиях, которые обычно тянутся вдоль автомобильных дорог. При этом было сделано предположение, что в ближайшие годы в Хакасии вырастет число линий, ведущих к вышкам, которые представляют для птиц особую опасность.

В данной работе были проверены новые участки птицепоопасных ЛЭП в пяти районах Хакасии. Проведена оценка того, насколько сильно изменилась ситуация с гибелью птиц на ЛЭП, посчитан ущерб от незаконной эксплуатации ЛЭП, не оснащённых ПЗУ, а также даны предложения по минимизации ущерба.

Методика

Полевые работы велись в Республике Хакасия на территории Орджоникидзевского, Ширинского, Усть-Абаканского, Аскизского и Бейского районов. Маршруты были проложены по открытым место-

threat for them in the region is represented by unsafe power lines which number is growing each year (Saltykov, 2014). For some globally endangered species such as Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) or Saker Falcon (*Falco cherrug*) that still preserve numerous breeding groups in Khakassia (Karyakin *et al.*, 2018a; 2019a) the death on power lines is a key factor that leads to population decline on a global scale (Kovach *et al.*, 2014; Karyakin *et al.*, 2016b).

A first power line survey in Khakassia was conducted in 2010 (Nikolenko, 2011). It encompassed the northern part of Minusinsk Hollow in Khakassia (Ordzhonikidze and Bograd Districts) and neighboring Uzhur district of Krasnoyarsk Territory. The length of surveyed lines was 14.3 km, and a mean density of dead birds along lines (DDB) was calculated as 7.02 individuals per 1 km. The total damage done to nature was estimated as RUB 408,000 (around EUR 10,200 or USD 13,377 as of 2010). The survey resulted in the manifestation of a strong recommendation to retrofit unsafe power lines with bird-protecting devices.

Fieldworks of 2010 revealed that power lines that supply mobile towers are more hazardous for birds since they are often located in undisturbed habitats and lead to elevations in flat surroundings. Mobile power lines kill 2.6 times more birds than lines that connect villages and usually go along highways and country roads. In 2010 it was supposed that in the coming decade the number of mobile power lines will rise, and so will the danger to birds.

In the current study, we surveyed unsafe power lines in 5 districts of Khakassia, 111.5 km in total. An estimation of the mortality rate from electrocution, total damage estimated in the local currency, and possible mitigation measures are given.

Methods

The fieldwork was conducted in August–September of 2020 and covered Ordzhonikidze, Shira, Ust-Abakan, Askiz, and Beya districts of Khakassia with survey routes mainly going through open habitats. We checked unsafe power lines (UPL) of medium voltage (6–10 kV) with pin insulators on concrete poles, and on grounded wooden poles equipped with linear disconnectors (fig. 1). Most of these lines were identified during fieldworks in May–June 2020 in the course of a routine survey of rare raptor species breeding habitats.

Power line survey was done from the slowly moving 4×4 off-road vehicle. Poles surrounded with high grass or bushes were thoroughly checked on foot, as well as swampy areas. The whole survey route and locations

Рис. 1. Осмотренные типы опор: А – бетонная опора со штыревыми изоляторами; В – деревянная заземлённая опора с линейными разъединителями; С – бетонная заземлённая опора с линейными разъединителями.

Фото Е. Шнайдер.

Fig. 1. Most hazardous types of electrical poles: А – concrete pole with pin insulators; В – grounded wooden pole with linear disconnectors; С – grounded concrete pole with linear disconnectors.

Photo by E. Shnyder.

обитаниям. Осматривались птицепасные линии электропередачи (ПО ЛЭП) средней мощности (6–10 кВ) на бетонных опорах со штыревыми изоляторами, а также на деревянных заземлённых опорах, оборудованных линейными разъединителями (рис. 1). Большинство этих ЛЭП были выявлены в ходе полевых работ в мае – июле 2020 г., целью которых являлся мониторинг мест гнездования редких видов хищных птиц.

Осмотр ЛЭП, идущих по открытым участкам, осуществлялся из окон движущейся вдоль ЛЭП на низкой скорости машины, участки с высоким растительным покровом тщательно осматривались во время остановки автомобиля – с раздвиганием травы около опор и проверкой растущих под опорами кустов. Заболоченные участки проверялись на пеших маршрутах. Весь маршрут фиксировался в GIS-приложении LocusPRO для мобильного телефона, отмечались места обнаружения птичьих останков, начало и конец птицепасных участков. Производилась фотофиксация останков птиц. Данные вносились в раздел «ООПТ и антропогенные угрозы» веб-ГИС «Фаунистика»⁵⁴. Полный фоторе-

of every dead bird were recorded via mobile application LocusPRO. Birds remains were all photographed. Data was input in the web-GIS database “Protected areas and anthropogenic threats”⁵⁴. The full set of photos of birds killed by power lines found during our study is attached as supplementary file (PDF)⁵⁵, as well as the list of power lines (MS EXCEL)⁵⁶. Species ID was done on a spot. Some specimens were impossible to ID up to species – they were left IDed up to genus. The term of death of each carcass was evaluated by visual marks. Feather samples from every dead bird of prey or owl were collected and now stored in the RRRCN feather collection. These samples could be used in different types of analysis from genetic ones to environmental ones (sharing and colab are possible, information on request).

In total, we surveyed 26 UPL with a total length of 111.5 km (table 1, fig. 2). The survey was done in two steps: first, from 17 till 31 of August 2020 we checked 47.2 km of power lines, and second, from 16 to 25 of September – 94.9 km of power lines where 64.3 km were surveyed for the first time and another 30.6 km undergone a repeated survey after first examination in August.

⁵⁴ <http://oopt.wildlifemonitoring.ru>

есть птиц, погибших на ЛЭП, в формате PDF⁵⁵, а также реестр ЛЭП в формате MS EXCEL⁵⁶ прилагаются к статье в виде дополнительных файлов. Со всех перьевых останков хищных птиц были собраны образцы перьев. Видовая принадлежность всех останков была определена до вида или рода. Оценивался срок давности гибели птицы.

Всего было осмотрено 26 участков птицеопасных ЛЭП общей протяжённостью 111,5 км (табл. 1, рис. 2). Обследование было проведено в два этапа: с 17 по 31 августа 2020 г. были проверены 47,2 км ЛЭП, а позднее, с 16 по 25 сентября, – 94,9 км ЛЭП, 64,3 км из которых были обследованы впервые и 30,6 км – повторно. Среди проверенных ЛЭП преобладали линии на бетонных опорах. Суммарно в августе и сентябре было проверено 97,8 км ПО ЛЭП 6–10 кВ на бетонных опорах, число проверенных бетонных опор составило 1674 шт. Именно эти данные использовались для всех расчётов, связанных с летальностью на единицу длины ЛЭП. Кроме них, были проверены ещё 13,7 км линий на деревянных опорах, с вкраплениями бетонных опор или деревянных опор, оснащённых разъединителями. У таких линий мы осматривали только опоры, представляющие явную опасность для птиц, пропуская незаземлённые деревянные опоры – число проверенных опор составило 47 шт. Эти данные дополнили результаты основной проверки при пересчёте коэффициента летальности на птицеопасную опору. Всего была проверена 1721 опора.

Among surveyed power lines ones on concrete poles prevailed – 97.8 km or 1,674 poles checked including repeated surveys. Data obtained from these very surveys was used in all calculations concerning bird fatality per 1 km of a line. Besides them, 13.7 km of power line predominantly on wooden poles with inclusions of concrete poles and poles with linear disconnectors was checked. For this line, we surveyed only unsafe poles that represent a danger to birds and neglected not grounded wooden poles. As a result, the number of checked poles was only 47 on 13.7 km of the line. Data collected on this line supplements the results of the main survey in calculations concerning fatality per pole or overall damage to nature from UPL in Khakassia.

In total, 1,721 unsafe poles were checked in this study.

In this study, several lines that go in a parallel near each other were processed as a single line. An example is depicted in figure 3 – it is the line No. 16 in Beya. Multiple power lines of 6–10 kV on concrete poles run out of electrical substation towards the village and enter the village one by one, thus their number is getting smaller and smaller, so finally, only one power line left and goes further. They all were processed as a single line with a high density of poles. The same situation represents line No. 19 that consists of two parallel lines that run towards two mobile towers operated by different companies on the same hill.

To calculate the amount of damage done to nature, we used methods and formulas prescribed by enactments of the Russian Federation concerning species enlisted in the Red List, game species, and non-game species (The Methodology..., 2008; The Methodology..., 2011). The inflation rate (IR) was calcu-

Рис. 2. Схематическое расположение проверенных участков птицеопасных ЛЭП на карте. Размер символа соответствует числу опор в линии. Индексы «а», «б» и т.д. означают, что линия состоит из нескольких отрезков, разделённых безопасными участками, но они имеют схожие характеристики, были проверены в один день и в статье рассматриваются совокупно.

Fig. 2. Map of examined unsafe power lines that expose danger for birds. The size of a symbol correlates with the number of poles in a line. Indexes “a”, “b” etc. indicate that the line consists of several unsafe parts separated by safe sections, but since those unsafe parts are from the same type and were checked simultaneously, we processed them as a whole.

⁵⁵ http://rrcn.ru/wp-content/uploads/2020/12/Photorep_LEP-2020.pdf

⁵⁶ <http://rrcn.ru/wp-content/uploads/2020/12/LEP-2020.xlsx>

Табл. 1. Общие данные о проверенных участках птицеопасных ЛЭП.

Table 1. Summary of data obtained during the examination of unsafe power lines in Khakassia, Russia in 2020.

№	Направление Direction	Сезон Season	Тип Type	Длина, км Length, km	Число опор, опасных для птиц Number of unsafe power poles	Погибшие птицы, ос. Electrocuted birds (EB), ind.	Плотность гибели птиц, ос./км Density of EB, ind./ km	Число видов No of species
1	Большой Сютик-Новомарьясово	О	F	13.0	230	73	5.62	12
2	Новомарьясово-Конгарово	М	F	1.2	27	29	24.17	7
3	из пос. Целинного в сторону оз. Белё	О	F	12.0	213	124	10.33	18
4	к сотовой вышке неподалёку от пос. Вершино-Биджа	О	S	0.5	9	35	70.00	5
5	к скважине близ дер. Курганной	О	F	1.1	20	26	23.64	8
6	к ООО Хакасский бентонит	О	R	4.8	82	8	1.67	5
7	к предприятию около Уйбатского канала	М	R	0.6	13	12	21.43	3
8	в Сафьяново (часть 1)	О	R	4.0	63	10	2.50	3
9	в Сафьяново (Часть 2)	О	F	4.9	70	23	4.69	5
10	в Усть-Камыште	М	R	1.5	23	4	2.76	1
11	Усть-Камышта-Катанов (часть 1)	М	F	5.8	90	46	7.93	7
12	Усть-Камышта-Катанов (часть 2)	О	R	11.3	170	64	5.66	8
13	к шебнедробилке	О	R	1.6	34	4	2.55	2
14	пос. Чартыковский - Ферма	В	R	2.0	38	7	3.59	3
15	от Бельтирского в горы	В	F	0.3	5	0	0.00	0
16	в Бее	М	R	3.8	84	13	3.42	5
17	за озером около Беи	М	F	3.5	71	43	12.29	6
18	в Новотроицком	М	R	4.2	86	45	10.69	9
19	к сотовым вышкам в Новотроицком	М	S	3.5	74	66	19.08	6
20	Новотроицкое-Кирба	О	F	14.0	193	121	8.64	11
21	отпайка от линии НТ-К в сторону оз. Подгорное	М	F	1.6	20	14	8.75	4
22	в Кирбе	М	R	1.5	33	16	10.53	4
23	в Кирбе	М	R	0.4	7	4	11.43	3
24	к сотовой вышке в Краснополье	М	S	0.6	12	14	23.33	4
25	вдоль трассы к пос. Изыхские Копи	М	R	0.4	7	2	5.00	2
Всего / Total			97.8	1674	803	8.21	30	
26	ЛЭП на деревянных опорах с единичными бетонными	М	R	13.7	47	27	1.97	6

Примечания / Notes:

В – гнездовой сезон / breeding season; М – начало осенней миграции / beginning of autumn migration; О – оба сезона / both seasons;

S – «сотовая» линия / mobile tower supplying line; F – «полевая» линия / field line; R – «придорожная» линия / roadside line;

EB – electrocuted birds.

Также надо отметить, что линия, идущая вдоль дороги внутри посёлка Бея (ПО ЛЭП № 16, рис. 2), состоит из нескольких рядов опор, число которых постепенно увеличивается по мере выхода из посёлка новых веток (см. рис. 3). Аналогично, параллель-

lated by December of 2020 and makes $IR = 2.47127249$ ("Inflation in Russia. 2020"). For the game species, the multiplier coefficient (K) was set as $K=3$ under paragraph 1.5 (extermination of the game caused by economic activity).

Рис. 3. Линия № 16 в пос. Бей. Состоит из нескольких рядов птицеопасных опор, идущих параллельно друг другу.

Fig. 3. Line №. 16 in Beya consists of several parallel lines on concrete poles.

но друг другу идут две линии от сотовых вышек около села Новотроицкое (ПО ЛЭП № 19, рис. 2). Все параллельные линии учтены как одна ЛЭП с густой сетью опор.

Для исчисления размера вреда видам, внесённым в Красную книгу РФ, а также иным видам, не относящимся к охотничьим ресурсам, были взяты нормативы стоимости из Приложения 2 к Методике исчисления размера вреда, причинённого объектам животного мира, занесённым в Красную книгу РФ (Методика..., 2008), а также формула расчёта, указанная в Методике. Коэффициент инфляции был рассчитан на декабрь 2020 г. в размере $KI = 2,47127249$ (уровни инфляции с 2008 по 2020 гг. взяты из данных, опубликованных на сайте «Инфляция в России» (2020).

Ущерб от гибели орлов, чью точную видовую принадлежность установить не удалось, был рассчитан по самому низкому из нормативов для выявленных под ЛЭП видов орлов.

Для исчисления размера вреда, нанесённого видам, отнесённым к охотничьим, были взяты размеры таксы из Приложения 1 к Методике исчисления вреда, причинённого охотничьим ресурсам (Методика..., 2011), а значение пересчётного коэффициента «К» – из приложения 2 к той же Методике, с теми же изменениями. Коэффициент «К» был установлен в размере $K = 3$ согласно параграфу 1.5 «Действия (бездействия), по причине которых произошло уничтожение (гибель) охотничьих ресурсов умышленно или по халатности при осуществлении хозяйственной деятельности...».

Ввиду отсутствия семейства голубеобразных в Методике исчисления размера вреда, причинённого объектам животного мира, занесённым в Красную книгу РФ, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания, ущерб, причинённый

During the study, we recorded all observations of live raptors perching on power lines. Including safe lines which we did not search for dead birds, but checked for the presence of live ones, namely high voltage power lines (110–500 kV) on metal pylons and medium-voltage (6–10 kV) power lines on wooden poles. For each observation, a type of pole, cross-arm, and wire and a method of perching (on top of a pole / on a cross-arm / on insulator / on a wire) were noted. Observations were input into an online database “Raptors of the world” of the Web-GIS “Faunistica”⁵⁷.

Characteristics of lines under examination

In the absence of detailed schemes of power lines of medium voltage, we set up our survey routes along three main highways in the republic searching for any unsafe power line across and along them. The majority of the landscape was represented by open terrain – steppe areas and agricultural fields. Thus, power lines in the wooden landscapes were not checked in this study. A share of poles surrounded by trees or bushes was less than 1% of the total number of examined poles.

Examined lines were divided into three types (fig. 4): (1) lines supporting mobile towers – “mobile” lines, (2) lines connecting villages and running through virgin lands or fields – “field” lines, or (3) running along roads or through settlements – “roadside” lines. No power lines running along the trash dump came across.

For each type we calculated the density of electrocuted birds and compared it between the types.

Estimation of the time since death (TSD)

Time since death was estimated by the condition of carcasses and feather remains, and the presence and development of maggots. We distinguished four main groups: (A) died within one week, (B) died within 3 weeks, but not attributed to the group A, (C) 1–4 months

вследствие гибели голубей, был рассчитан по таксам для горлиц из Методики исчисления вреда, причинённого охотничьим ресурсам.

В ходе исследований фиксировались все живые хищные птицы, наблюдавшиеся сидящими на опорах и проводах ЛЭП – в ходе всех полевых работ с мая по сентябрь 2020 г. Для каждой регистрации записывался тип опоры, траверсы и провода, а также характер посадки птицы (на опоре сверху, на траверсе, на изоляторе, на проводе и т.п.). Все наблюдения были внесены в раздел «Пернатые хищники Мира» веб-ГИС «Фаунистика»⁵⁷.

Выбор участков ЛЭП для осмотра

В отсутствие поопорных схем для участков линий 6–10 кВ, базовые маршруты были проложены вдоль трёх основных автомобильных трасс регионального и межмуниципального значения: Абакан – Ак-Довурак, Ужур – Шира – Троицкое, Белый Яр – Бея – Аскиз, для поиска и проверки всех птицепасных ЛЭП по маршруту. Были проверены ЛЭП, идущие по открытым местообитаниям – степным и агроландшафтам. ЛЭП, проложенные через лесные местообитания, не проверялись, а доля осмотренных опор, стоящих в окружении леса в линиях, осмотренных в открытых местообитаниях, составила в данном исследовании менее 1%.

Для оценки птицепасности различных типов линий все осмотренные линии были разделены на три группы (рис. 4): (1) линии, идущие к вышкам сотовой связи – «сотовые», (2) линии межпоселковые, идущие

после смерти, и (D) very old bones that remain from the previous season (more than 4 months old). If the death of a bird was revealed by only a few flight or tail feathers left below an electric pole, the case was assigned to the fifth group with an unknown time since death – it could be a few days or a few months.

Most precisely we can estimate the time since death for the fresh and whole bird's bodies using maggots. If the bird died within a week its corpse is inhabited with growing maggots (fig. 5); within the second week – maggots reach their pre-pupa size and begin to pupate, soft tissues of a corpse severely dissolved and it begins to lose feathers (fig. 6); during the third week bird's remains partly losing feathers begin to dry. At the end of the third week remains of a bird of the size of a Magpie (*Pica pica*) or a Kestrel (*Falco tinnunculus*) represent bone carcass with remains of dry skin and tendons, and with rectrices and remiges attached, but without most contour feathers. At this stage of decomposition, a corpse in the steppe biotope can remain unchanged for few months in a dry season (fig. 7). That's why time since death is so difficult to estimate for many carcasses older than three weeks.

However, in most cases this scheme is disturbed by scavengers. Corpses of small birds usually disappear from the place of death soon after death. And we found no birds of the size of Bunting (*Emberiza* sp.) or Thrush (*Turdus* sp.) older than a few hours since the death. Apart from Starlings (*Sturnus vulgaris*). Starlings are usually foraging close to villages where most scavengers – Kites, Eagles, and Foxes, are absent. Birds of medium size like Magpies, Crows (*Corvus* sp.), and Kestrels are usually eaten by scavengers near the place of

Рис. 4. Птицепасные ЛЭП в ландшафте: 1 – «сотовые», 2 – «полевые», 3 – «придорожные». Пояснения см. в тексте. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 4. Unsafe power lines in the landscape by type: 1 – “mobile”, 2 – “field”, 3 – “road-side”. See text for details. Photos by E. Shnyder.

⁵⁷ <http://rrcn.wildlifemonitoring.ru>

шие по ненарушенным местообитаниям или полям – «полевые», и (3) линии межпоселковые, идущие вдоль дорог или через населённые пункты – «придорожные». Для удобства группировки линий по их типам, линии с большой протяжённостью были поделены на условные участки. Линии, идущие вдоль крупных свалок, в данном исследовании не фигурируют.

Мы рассчитали плотность распределения погибших птиц на обследованных участках ЛЭП, сравнили результаты, полученные для линий разного типа, и рассчитали размер ущерба, причиняемого государству в результате незаконной эксплуатации ЛЭП, не оснащённых птицевозащитными устройствами.

Оценка давности гибели птиц

Давность гибели птиц оценивалась по состоянию фрагментов погибших птиц (мышечная ткань, перья). Все найденные останки были поделены на 4 группы: (А) погибшие не позднее 1 недели назад, (В) не позднее 3 недель назад, (С) гибель произошла 1–4 месяца назад, и (D) очень старые останки, лежащие с весны или ранее, полностью утратившие мягкие ткани. Все прочие находки, для которых не удалось установить точный срок гибели, были собраны в пятую группу с неустановленным сроком гибели. В основном сюда попали перьевые останки, состоящие из небольшого числа разрозненных маховых и/или рулевых перьев, которым с одинаковым успехом может быть как несколько дней, так и несколько месяцев.

Наиболее точно можно определить давность гибели свежих трупов – по наличию и степени развития личинок падальных мух (Локтев, Федосюткин, 1992; наши данные). Учитывая нестабильные температурные условия, была принята обобщённая схема: 0–1 сутки с момента гибели – кладка яиц, 1–2 суток – появление личинок, 2–7 суток – увеличение размеров личинок, 1,5–2 недели с момента гибели – начало окукливания (см. рис. 5).

Через две недели все личинки покидают труп и окукливаются. К этому времени они полностью растворяют мягкие ткани трупов птиц мелкого (скворец *Sturnus* sp., овсянка *Emberiza* sp.) и среднего размера (сороки *Pica pica*, пустельги *Falco tinnunculus*), обнажая рёбра и черепа (см. рис. 6), размягчается и отваливается раффотека. С разрушением кожных покровов останки птиц начинают терять покровные перья, интенсифицируется испарение вла-

Рис. 5. Труп сороки (*Pica pica*), заселённый растущими опарышами. Срок гибели от поражения электрическим током – менее 1 недели. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 5. A corpse of a magpie (*Pica pica*) invaded by growing maggots (3rd instar). Time since death – less than 1 week. Photo by E. Shnyder.

death. Plucked feathers are a clear sign that it has happened. Time since death could be estimated in a very short frame by the presence of down and down feathers. If down is not yet blown away by the wind and it is fluffy, not matted, then the bird died maximum within a week (fig. 8). Other conditions of down or its absence provide no valuable information for the case. If a corpse was not consumed by scavengers completely, then remain parts will undergo the same studies of utilization by maggots. But since there are fewer soft tissues the utilization will go faster, and by the time of pupation there would be no skin, no muscles at all (fig. 9).

In steppes of Khakassia, the role of scavengers is played by Black Kites (*Milvus migrans*) and Eagles (*Aquila* sp.). This leads to the following facts: (1) since both species are not cannibals, corpses of Kites and Eagles usually remain untouched and decompose only by insects, and (2) after the departure of the majority of black kites at the beginning of September much more corpses of electrocuted small- and medium-size birds remain under power lines decomposing only by insects making it easier to estimate accurately time since death.

Dogs (*Canis lupus familiaris*) and probably Foxes (*Vulpes vulpes*) can also play role in corpse disposal but to a much lesser degree. As well as cattle who usually use electric pylons for scratching and accidentally trampling remains of dead birds into the soil (fig. 10). It is also known that cattle can eat carrion from the ground.

Calculation of the disposal coefficient

Disposal coefficient (DC) is a parameter describing the difference between the real number of birds that died on power lines and

Рис. 6. Трупы: А – грача (*Corvus frugilegus*), В – сороки и С – пустельги (*Falco tinnunculus*), найденные через 2–3 недели после их гибели на ЛЭП. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 6. Corpses of А – a Rook (*Corvus frugilegus*), В – a Magpie, and С – a Kestrel (*Falco tinnunculus*), found in 2–3 weeks after their death from electrocution. Photos by E. Shnyder.

ги, и останки начинают высыхать. К концу третьей недели останки птиц размером с сороку и пустельгу обычно представляют собой костный каркас с остатками усохшей кожи и сухожилий с прикрепленными маховыми и рулевыми перьями, но практически полностью отсутствующими покровными. На этой стадии труп практически перестаёт разлагаться и может сохраняться в степи в сухой сезон месяцами (рис. 7).

Однако в большинстве случаев данная схема нарушается вмешательством хищных животных. Трупы птиц мелкого

the number of actual findings. The difference appears due to the complete disposal of a share of corpses by scavengers. DC is minimal for big raptors like kites and eagles since they themselves are the main scavengers. Plus, these species are highly territorial during the breeding season. And DC is maximal for small passerines. DC also differs between seasons. For this study, we calculated the average DC for raptors and non-raptors separately for the breeding season and the beginning of migration. DC was used to estimate the total damage to the avian population of Khakassia done by unsafe overhead power lines during the whole breeding season since birds' arrival.

The calculation was done in accordance with the method described by I. Karyakin *et al.* (2009) for Altai Territory. Based on a real number of week-old corpses we estimated a potential number of birds that could die in three weeks and three months and compared it with the actual number of three-week-old and three-month-old carcasses found. As an

Рис. 7. Вверху: трупы коршуна (*Milvus migrans*) и пустельги (в лапах у коршуна), погибшие на птицепасной ЛЭП № 4. Внизу: труп ворона (*Corvus corax*), погибшего на ПО ЛЭП № 4. В обоих случаях фотографии слева сделаны 17 августа 2020 г., а фото справа (тех же самых останков) – спустя месяц, 20 сентября 2020 г. За это время состояние останков практически не изменилось. Срок гибели птиц установить не удалось. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 7. On the top: a corpse of a Kite (*Milvus migrans*) holding a corpse of a Kestrel in its talons. Both died from electrocution on the power line No. 4. Kestrel first, then the kite who came to feed on a dead Kestrel. Below: a corpse of a Raven (*Corvus corax*) that died from electrocution on the power line No. 4. In both cases, pictures on the left are made on August 17, and on the right – a month later, on September 20. Corpses' condition have not changed significantly within the month. The time since death remains unclear. Photos by E. Shnyder.

размерного класса (овсянки, жаворонки *Alaudidae* sp., трясогузки *Motacillidae* sp., дрозды *Turdus* sp.) обычно утаскиваются хищниками прочь от места гибели не позднее суток после гибели. Поэтому во время проверок среди птиц этого размерного класса нам удалось обнаружить лишь тех, которые погибли не позднее нескольких часов до проверки. Исключение составляют скворцы (*Sturnus vulgaris*), которые порой остаются на месте гибели до двух недель, предположительно из-за близости мест их гибели к населённым пунктам.

Птицы среднего размера (сороки, вороны *Corvus* sp., пустельги) обычно поедаются хищниками непосредственно вблизи места гибели. Зачастую ошип происходит прямо под опорой, а поедание тушки – на присаде, если речь идёт о пернатых хищниках. В таких случаях мы находим под опорой кучки ошипанных перьев. Сроки гибели в таком случае можно определить по косвенным признакам – если пуховые перья и пух ещё не унесены ветром из-под опоры и не свалялись от влаги, то значит, ошип птицы произошёл совсем недавно, и она была ещё свежей, не обработанной личинками, то есть с момента гибели прошло не более недели (см. рис. 8). Сваляв-

предположительно из-за близости мест их гибели к населённым пунктам.

Птицы среднего размера (сороки, вороны *Corvus* sp., пустельги) обычно поедаются хищниками непосредственно вблизи места гибели. Зачастую ошип происходит прямо под опорой, а поедание тушки – на присаде, если речь идёт о пернатых хищниках. В таких случаях мы находим под опорой кучки ошипанных перьев. Сроки гибели в таком случае можно определить по косвенным признакам – если пуховые перья и пух ещё не унесены ветром из-под опоры и не свалялись от влаги, то значит, ошип птицы произошёл совсем недавно, и она была ещё свежей, не обработанной личинками, то есть с момента гибели прошло не более недели (см. рис. 8). Сваляв-

предположительно из-за близости мест их гибели к населённым пунктам.

Птицы среднего размера (сороки, вороны *Corvus* sp., пустельги) обычно поедаются хищниками непосредственно вблизи места гибели. Зачастую ошип происходит прямо под опорой, а поедание тушки – на присаде, если речь идёт о пернатых хищниках. В таких случаях мы находим под опорой кучки ошипанных перьев. Сроки гибели в таком случае можно определить по косвенным признакам – если пуховые перья и пух ещё не унесены ветром из-под опоры и не свалялись от влаги, то значит, ошип птицы произошёл совсем недавно, и она была ещё свежей, не обработанной личинками, то есть с момента гибели прошло не более недели (см. рис. 8). Сваляв-

Results

Live raptors accounting on power lines

A list of species observed perching on various types of power lines is presented in table 2. In total, 252 raptors of 12 species were recorded. 70 individuals (27.8%) represent species from the Red List of Russia – namely Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*), Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), Steppe Eagle, Great Spotted Eagle (*Aquila clanga*), Saker Falcon, and Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*) (fig. 11). Besides raptors, on wires we noted numerous European Starlings (*Sturnus vulgaris*), buntings (*Emberizidae*), pipits and

Рис. 8. Перьевые останки после ошипа хищником трупа (а) овсянки обыкновенной (*Emberiza citrinella*), (b) сороки, (c) пустельги, (d) чёрной вороны (*Corvus cornix*), (e) самца пустельги, (f) болотной совы (*Asio flammeus*), погибших на ЛЭП. Вверху: среди ошипанных перьев ещё присутствуют не свалявшиеся пух и пуховые перья, что указывает на недавний срок гибели ошипанной птицы, в пределах нескольких дней. Внизу: из ошипанных перьев остались только контурные, что не позволяет датировать гибель птицы. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 8. Feather remains after plucking of (a) a Yellowhammer (*Emberiza citrinella*), (b) a Magpie, (c) a Kestrel, (d) a Carrion Crow (*Corvus cornix*), (e) a male Kestrel, (f) a Short-Eared Owl (*Asio flammeus*), all died from electrocution. On the top – clean fluffy down is still present among plucking feathers, which indicates that plucking happened shortly before line examination and the plucked bird was fresh. Thus, the time since death is less than one week. Below – only contour feathers are left, so it is impossible to accurately estimate time since death. Photos by E. Shnyder.

Рис. 9. Трупы: А – со-роки, В – пустельги и С – ворона, поеденные хищником после их гибели на ПО ЛЭП. Срок гибели каждого – менее 1 месяца. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 9. Electrocuted corpses of (A) a Magpie, (B) a Kestrel, and (C) a Raven, eaten by a scavenger. Time since death of each of them is less than one month. Photos by E. Shnayder.

шиеся пуховые перья или их отсутствие говорят о больших сроках с момента гибели. В дальнейшем и контурные перья разносятся ветром, однако особенности рельефа существенно влияют на этот процесс, и определить срок гибели птицы не представляется возможным.

В тех случаях, когда поедание трупа также происходит под опорой, на месте остаются элементы каркаса, которые проходят те же стадии утилизации личинками падальных мух, однако ввиду фрагментарности трупа и отсутствия мышечной массы, его утилизация происходит гораздо быстрее, и к моменту окукливания личинок (2 недели от гибели) на таких останках практически не остаётся ни фрагментов кожи, ни остатков мышечной ткани (см. рис. 9).

Основными утилизаторами падали в степи Хакасии являются коршуны (*Milvus migrans*) и орлы (*Aquila* sp.). Из этого следуют две закономерности: (1) трупы коршунов и орлов обычно остаются нетронутыми (эти виды не являются каннибалами) и утилизируются лишь насекомыми, (2) после отлёта коршунов в сентябре под ЛЭП остаётся гораздо больше цельных трупов более мелких птиц, которых утилизируют только насекомые, а следовательно, проще установить сроки их гибели.

Также в утилизации трупов участвуют собаки (*Canis lupus familiaris*), вероятно, лисы (*Vulpes vulpes*), и домашний скот. Последние часто трутся об опоры ЛЭП, затапывая при этом убитых птиц (см. рис. 10). Известно, что коровы также нередко подъедают падаль с земли.

wagtails (*Motacillidae*), Sand Martins (*Riparia riparia*), and Corvids – Ravens (*C. corax*), Carrion Crows (*C. corone orientalis*), Rooks (*C. frugilegus*), Magpies. Non-raptor species were not included in the live bird data processing.

An absolute majority of raptors were observed perching on safe lines with wooden poles – 218 individuals (86.5%). The remaining ones divided between unsafe 10 kV power lines on concrete poles (18 ind., 7.1%) and high-voltage transmission lines (14 ind., 5.6%). Large-bodied eagles were seen alive only on medium-voltage lines with wooden poles or on high-voltage lines (fig. 12). Apparently, the bias in the number of observations of live raptors perching on different types of power lines is due to (1) high mortality among raptors who do not avoid unsafe power lines and (2) development of stereotypical avoidance of unsafe lines supported by (natural) selection.

Рис. 10. Останки коршуна под опорой ПО ЛЭП № 3, утопанные коровами, и телята, использующие одну из опор той же самой ПО ЛЭП № 3 для чесания. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 10. Remains of a Black Kite under the power line No. 3 trampled into the soil by cows. And calves scratching themselves against an electricity pole of the same line. Photos by E. Shnayder.

Расчёт коэффициента утилизации

Коэффициент утилизации (КУ) – это показатель, описывающий разницу между реальным числом погибших на ЛЭП птиц и фактически найденным их количеством, возникающую вследствие полной утилизации останков птиц падальщиками, без оставления каких-либо следов. Коэффициент утилизации различен для разных экологических групп птиц, погибающих на ЛЭП – крупных и мелких хищников, врановых и мелких воробьиных. Очевидно, что он минимален для орлов и коршунов, поскольку именно эти птицы сами являются основными утилизаторами трупов, и после гибели на ЛЭП их останки сохраняются под опорами продолжительное время. Здесь играют роль и территориальность этих видов в гнездовой сезон, и тот факт, что эти виды не являются каннибалами. Максимален КУ для мелких воробьиных птиц. Также КУ различается в гнездовой сезон и в период миграции. В данной работе мы рассчитали усреднённый КУ, общий для всех видов, для летнего и осеннего сезонов. В дальнейшем КУ используется для оценки общего ущерба, нанесённого ПО ЛЭП Хакасии её пернатому населению.

Расчёт КУ был проведен по методике, применённой в работе по Алтайскому Краю (Карякин и др., 2009). Для этого, исходя из реально найденного числа птиц, погибших на участке ЛЭП за неделю, мы сделали оценку количества птиц, теоретически гибнущих при таком же уровне летальности за 3 недели и 3 месяца на таком же участке, и сравнили с реально найденным числом утилизированных останков. В качестве допущения была принята линейная модель гибели птиц на ЛЭП, т.е. что на протяжении гнездового сезона либо во время периода миграции, вероятность гибели птиц на ЛЭП остаётся постоянной. Чтобы вычислить КУ более точно, мы посчитали его отдельно для хищных и нехищных птиц. КУ за гнездовой период был посчитан по результатам проверок в августе. КУ за сентябрь был посчитан по результатам повторных проверок ЛЭП, выполненных в сентябре. Также был рассчитан общий КУ «гнездовой сезон + сентябрь» по результатам первичных проверок линий в сентябре.

Из расчёта КУ были исключены данные проверок линии № 13, поскольку это новая линия, установленная в августе, а запущенная лишь в сентябре.

Mortality rate

In the course of the power lines survey, we discovered 830 dead birds of 30 species in total. Among them 228 (27.5%) carcasses belong to 12 species of raptors, 17 individuals (2%) were listed in the Red Book of Russia, namely Saker Falcon – 5 ind., Peregrine – 3 ind., Golden Eagle – 1 ind., Eastern Imperial Eagle – 3 ind., Steppe Eagle – 2 ind., and very old bones of *Aquila* sp. – 3 ind. (fig. 13).

Eight hundred and three dead birds were found under UPLs No. 1–25 with concrete pylons and pin insulators, and 27 dead birds – on the UPL No. 26 that actually represent sparsely located unsafe poles in conditionally safe power line with wooden poles (table 1). The average density of dead birds per 1 km of power line for UPLs No. 1–25 was 8.21 ind./km. The average value per 1 unsafe pole for UPLs No. 1–26 was 0.48 ind./pole. An exclusion of the UPL No. 26 did not change the value. Thus, due to the great dissimilarity of UPL No. 26 comparing with other UPLs, we decided to exclude it from the data processing, except for the calculation of damage done to nature and analysis of a variety of species.

Table 3 represents data collected on “mobile”, “field” and “roadside” power lines separately. In total, we checked 3 “mobile” power lines with 115 dead birds found on 4.6 km, 10 “field” power lines with 499 dead birds found on 57.4 km, and 12 “roadside” power lines with 189 dead birds on 35.9 km. UPL No. 26 is also of “roadside” type, but as we noted above, we set it aside from the main data processing.

The average density of dead birds per 1 km (DDB) of power line was the highest on “mobile” type – **25.22 ind./km**. On “field” lines – **8.70 ind./km**, and on “roadside” – **5.26 ind./km**. In each type, there were single or a few UPLs with the DDB more than two times higher than the average. In “mobile” type it is UPL No. 4 consisting of only 9 concrete poles, that starts from a safe power line on wooden poles and leads to the top of a hill, with $DDB_{No.4} = 70 \text{ ind./km}$. In the “field” type there are UPL No. 5 consisting of 20 concrete poles, beginning from a “roadside” power line and leading into the steppe towards a water well with $DDB_{No.5} = 23.64 \text{ ind./km}$, and UPL No. 2 with $DDB_{No.2} = 24.17 \text{ ind./km}$ consisting of 27 concrete poles, which starts from substation in the village and runs across the small river towards a forest where it changes concrete poles to wooden ones and becomes safe. Among the “roadside” type it is UPL No. 7 with 13 concrete poles, starting from a wooden line and running towards small factory near highway

Табл. 2. Встречи живых хищных птиц, сидящих на ЛЭП, в августе – сентябре 2020 во время проведения исследования.

Table 2. Observations of live birds of prey perching on power lines recorded along the course of the present study in August – September of 2020.

Вид / Species	Деревянная опора ЛЭП 10 кВ Wooden pole of 10 kV power line			Бетонная опора ЛЭП 10 кВ Concrete pole of 10 kV power line			ЛЭП 110–500 кВ 110–500 kV power line			Прочие опоры Other pylons	Всего Total	Доля, % Share, %
	PB	R	W	PB	R	W	C	M	W			
Беркут / <i>Aquila chrysaetos</i>		1						1			2	0.79
Орёл-могильник <i>Aquila heliaca</i>		28					2	1			31	12.30
Степной орёл <i>Aquila nipalensis</i>		21									21	8.33
Большой подорлик <i>Aquila clanga</i>	1*	5					1	1			8	3.17
Мохноногий курганник <i>Buteo hemilasius</i>	3*	52			1						56	22.22
Канюк / <i>Buteo buteo</i>		2	1		1	1					5	1.98
Хохлатый осоед <i>Pernis ptilorhynchus</i>								1			1	0.40
Коршун / <i>Milvus migrans</i>	2	16	1	2	3		1		1		26	10.32
Балобан / <i>Falco cherrug</i>		1	1				1	1			4	1.59
Сапсан / <i>Falco peregrinus</i>		2					1	1			4	1.59
Чеглок / <i>Falco subbuteo</i>		2			1					1	4	1.59
Пустельга <i>Falco tinnunculus</i>	4	50	25	2	6	1			1	1	90	35.71
Всего / Total	10	180	28	4	12	2	6	6	2	2	252	
Доля, % / Share, %	3.97	71.43	11.11	1.59	4.76	0.79	2.38	2.38	0.79	0.79		

Примечания / Notes:

PB – угловая опора ЛЭП 10 кВ / a push-brace pole of 10 kV power line;

R – промежуточная опора ЛЭП 10 кВ / a regular pole of 10 kV power line;

C – бетонная опора ЛЭП 110–500 кВ / concrete pylon of 110–500 kV power line;

M – металлическая опора ЛЭП 110–500 кВ / metal pylon of 100–500 kV power line;

W – провод / wires;

* – птицы сидели на нижних перекладинах угловых опор / bird perched on the lower crossbar of a push-brace pole.

Результаты

Учёт живых хищных птиц на ЛЭП

Во время проведения осмотров птицепасных линий электропередач мы параллельно вели запись встреч живых пернатых хищников, сидящих на ЛЭП. В эти наблюдения попадали не только птицы, использующие осмотренные целевые ПО ЛЭП (26 участков, табл. 1), но и сидящие на ЛЭП других типов, расположенных поблизости от целевых линий. В том числе были учтены живые хищные птицы, сидящие на условно безопасных линиях 110–500 кВ и линиях с деревянными опорами. Результаты наблюдений приведены в табл. 2.

Всего сидящими на инфраструктуре линий электропередачи были отмечены 252 живые хищные птицы 12 видов, из них 70 особей (27,8%) – видов, занесённых в КК РФ, а именно беркут (*Aquila chrysaetos*), орёл-могильник (*Aquila heliaca*), степной орёл, большой подорлик (*Aquila clanga*), балобан

with $DDB_{No.7} = 21.43 \text{ ind./km}$. Each of these lines with high bird mortality is short, protruding in the surrounding flat landscape and thus very attractive for all kind of birds. The most hazardous line is no doubt UPL No. 4 with 9 poles that killed 35 birds including 18 raptors.

The density of dead raptors per 1 km (DDR) (table 3) reveals high danger exposed by a single “mobile” UPL No. 4 ($DDR_{No.4} = 36 \text{ ind./km}$) and “field” lines on average ($DDR_{field} = 2.96 \text{ ind./km}$) versus “roadside” lines on average ($DDR_{road} = 0.92 \text{ ind./km}$). Thus, on average “field” lines kill 3.2 times more raptors than “roadside” lines. And among “mobile” lines there is high variability between mortality rates on individual lines. This means that, in contrast to the avian population in total, not every “mobile” line exposes high danger to raptors. For instance, “mobile” UPLs No. 19 and 24 are located not far from settlements and do not attract many raptors, so their $DDRs$ are quite low (lower than the average value for the “field” lines), but they still

Рис. 11. А – орёл-могильник (*Aquila heliaca*) на траверсе высоковольтной ЛЭП с подвесным типом изоляторов; В – мохноногий курганник (*Buteo hemilasius*) на траверсе птицепасной ЛЭП 10 кВ на бетонных опорах; С – пустельга, сидящая на проводе условно безопасной линии 10 кВ на деревянных опорах. Фото И. Карякина и Е. Шнайдер.

Fig. 11. A – an Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*) perching on the cross-arm of high-voltage transmission line with suspension insulators; B – an Upland Buzzard (*Buteo hemilasius*) perching on the cross-arm of unsafe 10 kV power line with concrete poles; C – a Common Kestrel perching on a wire of conditionally safe 10 kV power line with wooden poles. Photos by I. Karyakin and E. Shnyder.

и сапсан (*Falco peregrinus*) (см. рис. 11). Помимо хищных птиц, на опорах и проводах также были отмечены многочисленные скворцы, овсянки (*Emberizidae* sp.), коньки и трясогузки (*Motacillidae* sp.), ласточки-береговушки (*Riparia riparia*), представители врановых (*Corvidae*) – вороны (*Corvus corax*), чёрные вороны (*C. corone orientalis*), грачи (*C. frugilegus*), сороки. Однако в данном разделе статьи анализ будет проведён только по выборке хищных птиц, поскольку именно они являются ключевыми видами, чьи популяции несут максимальный урон от ПО ЛЭП.

Абсолютное большинство живых хищных птиц были отмечены на линиях с деревянными опорами – 218 особей (86,5%). Оставшиеся примерно поровну поделились между ЛЭП на бетонных опорах (18 особей, 7,1%) и высоковольтными линиями электропередачи (14 особей, 5,6%). При этом крупные орлы рода *Aquila* отмечены живыми только на деревянных и высоковольтных линиях (см. рис. 12).

Очевидно, что наблюдаемое смещение в частоте встреч живых хищных птиц на разных типах ЛЭП сформировано двумя основными факторами: (1) частой гибелью птиц, не остерегающихся птицепасных линий, и (2) формированием у птиц стереотипного избегания таких линий, поддерживаемое отбором.

Рис. 12. Орлы на деревянных опорах ЛЭП: (А) степной орёл (*Aquila nipalensis*) и (В) беркут (*Aquila chrysaetos*) на промежуточных деревянных опорах, и (С) большой подорлик (*Aquila clanga*) на нижней перекладине анкерной деревянной опоры. Фото Е. Шнайдер и И. Карякина.

Fig. 12. Eagles perching on wooden electricity poles: (A) a Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) and (B) a Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) on the top of the poles, and (C) a Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*) on the lower crossbar of the push-brace pole. Photos by E. Shnyder and I. Karyakin.

kill a lot of non-raptor birds getting top DDB indexes. The unfortunate feature of the “bird-extermimator” UPL No. 4 of the “mobile” type is its remoteness from any settlement location, on a slope of the highest hill in the area surrounded by pastures. The same features but less pronounced made “field” lines so dangerous for raptors.

An important parameter that can reveal the most dangerous power lines for raptors is the share of raptors (SR) in the total number of electrocuted birds (table 3). The UPL No. 25 (2 raptors out of 2) falls outside the confidence interval, so we excluded it from the following statistic. The median level of SR for the remaining 24 UPLs was 25%. We considered lines with SR falling into 90% percentile ($p_{90} = 40.60\%$) as ones representing extreme danger for raptors. It highlighted three UPLs: a notorious UPL No. 4 (SR = 51.4%), “field” UPL No. 20 (SR = 50.4%) and “field” UPL No. 2 (SR = 41.4%). UPL No. 20 got not so high DDR as several other lines ($DDR_{No.20} = 4.36 \text{ ind./km}$) due to its big length (14 km) – it is the longest line we examined during the study. And its length disguises its dangerous character. If we consider only a stretch of this electricity line from the pole No. 180 to the pole No. 230 with a total length of 3.5 km that ran through a hilly steppe area with halfway harvested hay fields and remoteness from the nearest settle-

Уровень гибели птиц

Всего на осмотренных линиях было обнаружено 830 трупов птиц 30 видов. Из них 228 трупов (27,5%) принадлежали хищным птицам 12 видов, 17 трупов (2%) – пяти видам, занесённым в Красную Книгу РФ: балобан – 5 ос., сапсан (*F. peregrinus*) – 3 ос., беркут – 1 ос., могильник – 3 ос., степной орёл – 2 ос. и 3 ос. орлов, чьи очень старые останки не удалось определить до вида (см. рис. 13). Из них 803 погибшие птицы были найдены на линиях № 1–25, протянутых преимущественно на бетонных опорах, а 27 погибших особей – на линии № 26, которая, по сути, представляет собой отдельно стоящие ПО опоры в условно-безопасной деревянной ЛЭП – всего 47 ПО опор на протяжении 13,7 км (табл. 1). Средняя плотность погибших птиц на единицу длины по результатам осмотров линий с бетонными опорами (№ 1–25) составила 8,21 ос./км линии (803 трупа на 97,8 км линий). Число погибших птиц на одну птицепасную опору составило 0,48 ос./ПО опору, независимо от включения (830 трупов на 1721 опору) или не включения (803 трупа под 1674 опорами) в объём данных по линии № 26. Поскольку по своей специфике линия № 26 сильно отличается от остальных линий, а существенного вклада в увеличение плотности погибших птиц не даёт, то в настоящем исследовании она была исключена из большинства анализов и учитывалась только для исчисления размера ущерба.

Рассмотрим по-отдельности «сотовые», «полевые» и «придорожные линии» (табл. 3). Всего было проверено 3 «сотовых» ЛЭП – найдено 115 трупов на 4,6 км с 95 опорами; 10 «полевых» участков ЛЭП – найдено 499 трупов на 57,4 км с 939 опорами; 12 участков «придорожных» ЛЭП – найдено 189 трупов на 35,9 км с 640 бетонными опорами. Также к «придорожным» можно отнести ЛЭП № 26, однако как упомянуто выше, эта линия не будет рассматриваться в данном разделе.

Средняя плотность погибших птиц оказалась самой высокой на «сотовых» ЛЭП – **25,22 ос./км** или 1,21 ос./опора. На «полевых» ЛЭП плотность погибших птиц составила **8,70 ос./км** или 0,53 ос./опора, на «придорожных» – линиях вдоль автодороги и на окраине населённых пунктов – **5,26 ос./км** или 0,30 ос./опора. При этом в каждой из групп находились участки ЛЭП, плотность погибших птиц на которых более чем в 2 раза превышала среднюю. В группе «сотовых» – это ПО линия № 4

ment on 4.5 km, then we shall find that DDR of this very stretch is **10.6 ind./km** and SR = 88.1% (37 raptors out of 42 dead birds). It is highly attractive for dispersing young raptors and raptors on migration because of the hay fields and hills, and it got deadly concrete poles that kill hundreds per season. Most of the electrocuted raptors on this stretch of the UPL No. 20 were Common Kestrels (71.4%) of different ages and sexes.

Raptors listed in the Red Book of Russia mostly died on “field” lines – 15 ind. out of 17. Corpses of all eagles and Sakers were found under the “field” lines. Only two dead Peregrines were found under the “roadside” lines not far from the settlements. Thus, we can conclude that “field” lines are the most dangerous for the rare species.

A representative example of differences in the level of danger exposed by unsafe concrete vs unsafe wooden poles is given by the UPL No. 19. This UPL actually consists of two lines that go in parallel from a village up to the hill heading to two mobile towers. One line is a typical UPL with concrete poles, another – conditionally safe line with wooden poles partly equipped with linear disconnectors. Both lines are 3.5 km in length. Line with 67 concrete poles killed 56 birds (DDB per 1 pole = 0.84 ind./pole). While wooden line killed 10 birds by only 7 unsafe poles

Рис. 13. Орёл-могильник, погибший на ПО ЛЭП № 3. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 13. An Eastern Imperial Eagle electrocuted on UPL No. 3. Photo by E. Shnayder.

суммарной длиной в 9 опор, отходящая от деревянной линии и ведущая на холм, на которой плотность гибели составила **70 ос./км**. В группе «полевых» – это ПО ЛЭП № 5 длиной в 20 опор, отходящая от бетонной линии, идущей вдоль дороги, и ведущая к водяной скважине в степи – **23,64 ос./км**, а также ПО участок № 2 длиной в 27 опор, выходящая с подстанции на краю села и идущая через пойму речки в лес – **24,17 ос./км**. Среди «придорожных» – это линия № 7 длиной в 13 опор, отходящая от деревянной ЛЭП и ведущая к небольшому предприятию – **21,43 ос./км**. Очевидно, что все эти линии – короткие, выдающиеся в окружающий ландшафт, а потому особенно привлекательные для птиц. Очевидным анти-лидером, без сомнения, является ПО линия № 4, идущая к сотовой вышке, погубившая на своих 9 опорах 35 птиц, из которых 18 – хищные.

Если обратить внимание на плотность погибших хищных птиц (ПХП) (табл. 3), то с первого взгляда станет очевидна повышенная степень угрозы, исходящая от «сотовых» и «полевых» ЛЭП по сравнению с «придорожными». Так, плотность гибели хищных птиц на «сотовых» – **4,61 ПХП/км** (или 0,22 ПХП/опора), на «полевых» – 2,96 ПХП/км (или 0,18 ПХП/опора), на «придорожных» – 0,92 ПХП/км (или 0,05 ПХП/опора). То есть «сотовые» ЛЭП губят в 5 раз, а «полевые» – в 3,2 раза больше хищных птиц, чем «придорожные». Однако при более внимательном рассмотрении результатов можно заметить, что среди «сотовых» ЛЭП лишь одна выделяется колоссальным количеством погибших пернатых хищников (ПО линия № 4: 18 погибших ХП на 9 опор), в то время как на двух других плотность гибели ХП не превышает таковую для линий «полевого» типа (1,67 ПХП/км и 0,58 ПХП/км). Это говорит о том, что, в отличие от выборки по всему пернатому населению, для хищных птиц особую опасность представляют лишь специфически расположенные линии, ведущие к сотовым вышкам. В частности, линия № 4 расположена вдали от населённых пунктов, в степи, в окружении пастбищ. Из двух других «сотовых» линий одна находится на окраине посёлка, а другая тянется вдоль шоссе, и обе они не привлекают большого количества пернатых хищников и не становятся причиной их массовой гибели. В то же время на «сотовых» ЛЭП, в частности, на каждой из трёх проверенных, действительно гибнет существенно больше птиц (не только

(DDB per 1 pole = 1.43 ind./pole). Thus, one grounded wooden pole with a linear disconnecter killed 1.7 times more birds than one regular concrete pole in the same area. The attractiveness of wooden poles for birds is obvious and confirmed by the observations of live raptors. Thus, a wooden pole with a linear disconnecter is even more dangerous for birds than a concrete pole.

Results of repeat surveys

Eight stretches of UPLs with a total length of 30.6 km with 515 poles were surveyed twice: in August and a month later, in September. During the first examination in August, we revealed birds' carcasses accumulated through the whole breeding season (101 dead birds, DDB = 3.3 ind./km; 43 dead raptors, DDR = 1.4 ind./km), while re-examination in September has revealed only birds electrocuted within a month (± 5 days) passing from the first survey (114 dead birds, DDB = 3.73 ind./km; 36 dead raptors, DDR = 1.2 ind./km) (table 4). Close values of mortality indexes obtained in repeated surveys indicate that bird fatality increases with the onset of autumn migration. Here we try to estimate this increase.

All dead birds found in repeat surveys were divided into groups by the time since death as described in the methods (fig. 14). In August there were birds from all five groups: died less than a week ago ("0–7 days"), died more than a week but less than 3 weeks ago ("1–3 weeks"), died more than a month but less than 4 months ago ("1–4 months"), old bones ("very old") and undated feathers ("undated-missed"). In September we found no carcasses older than a month, except a few whose time since death was difficult to tell and that were probably overlooked in August (8 ind., 7% of the findings in September). We assign them to the "undated-missed" group together with undated feather remains found in August. The missing of a few dead birds could happen due to high grass and crops in the fields surrounding power lines in August. At the end of September when fields were harvested and grazing livestock cut the grass, that areas became accessible for better search. Technically, poles located in such areas were checked only once, so our decision was to exclude these "probably missed in August, probably died in September" cases from data processing.

Comparing of corresponding groups revealed an increase in the number of individuals and a share from the total in groups "0–7 days" and "2–3 weeks" in September (fig. 14). The increase in the number of birds that died just a few days before the survey in September

Табл. 3. Вклад ЛЭП различного типа расположения в гибель птиц.

Table 3. Contribution from differently located types of power lines into birds' mortality caused by electrocution.

№	Длина, км Length, km	Число опор, опасных для птиц No of unsafe poles	Погибшие птицы, ос. Electrocuted birds (EB), ind.	Погибшие ХП, ос. Electrocuted raptors (ER), ind.	Доля хищных птиц, % Share of raptors, %	Погибшие птицы из КК РФ, ос. Electrocuted endangered raptors, ind.	Плотность гибели птиц, ос./км Density of EB, ind./km	Плотность гибели птиц на 1 опору Density of EB per 1 pylon	Плотность гибели хищных птиц, ос./км Density of ER, ind./km	Плотность гибели хищных птиц на 1 опору Density of ER per 1 pylon
«Сотовые» / Mobile tower supplying line										
4	0.5	9	35	18	51.43	0	70.00	3.89	36.00	2.00
24	0.6	12	14	1	7.14	0	23.33	1.17	1.67	0.08
19	3.5	74	66	2	3.03	0	19.08	0.89	0.58	0.03
Всего Total	4.6	95	115	21	18.26	0	25.22	1.21	4.61	0.22
«Полевые» / Field power lines										
1	13.0	230	73	24	32.88	2	5.62	0.32	1.85	0.10
2	1.2	27	29	12	41.38	0	24.17	1.07	10.00	0.44
3	12.0	213	124	34	27.42	7	10.33	0.58	2.83	0.16
5	1.1	20	26	7	26.92	1	23.64	1.30	6.36	0.35
9	4.9	70	23	7	30.43	1	4.69	0.33	1.43	0.10
11	5.8	90	46	17	36.96	2	7.93	0.51	2.93	0.19
15	0.3	5	0	0	-	0	0.00	0.00	0.00	0.00
17	3.5	71	43	3	6.98	1	12.29	0.61	0.86	0.04
20	14.0	193	121	61	50.41	1	8.64	0.63	4.36	0.32
21	1.6	20	14	5	35.71	0	8.75	0.70	3.13	0.25
Всего Total	57.4	939	499	170	34.07	15	8.70	0.53	2.96	0.18
«Придорожные» / Roadside power lines										
6	4.8	82	8	3	37.50	0	1.67	0.10	0.63	0.04
7	0.6	13	12	2	16.67	0	21.43	0.92	3.57	0.15
8	4.0	63	10	3	30.00	0	2.50	0.16	0.75	0.05
10	1.5	23	4	0	0.00	0	2.76	0.17	0.00	0.00
12	11.3	170	64	10	15.63	0	5.66	0.38	0.88	0.06
13	1.6	34	4	1	25.00	0	2.55	0.12	0.64	0.03
14	2.0	38	7	0	0.00	0	3.59	0.18	0.00	0.00
16	3.8	84	13	1	7.69	0	3.42	0.15	0.26	0.01
18	4.2	86	45	11	24.44	1	10.69	0.52	2.61	0.13
22	1.5	33	16	0	0.00	0	10.53	0.48	0.00	0.00
23	0.4	7	4	0	0.00	0	11.43	0.57	0.00	0.00
25	0.4	7	2	2	100.00	1	5.00	0.29	5.00	0.29
Всего Total	35.9	640	189	33	17.46	2	5.26	0.30	0.92	0.05

Примечания / Notes:

EB – electrocuted birds; ER – electrocuted raptors.

хищных), чем в среднем на других типах ЛЭП, видимо, ввиду их расположения на возвышенностях.

Среди других типов ЛЭП также попадают линии и их отрезки с повышенной концентрацией погибших пернатых хищников. В данном контексте более информативным показателем будет процент

could be due to departure of Black Kites in the first half of the month. But it also could be due to intensive autumn migration of raptors and passerines through Khakassia. The increase observed in the group of birds electrocuted 2–3 weeks before the September survey confirmed “migration” hypothesis, because many carcasses in this category were torn and eaten

хищных птиц среди общего числа найденных трупов (табл. 3). При этом одна из линий – ПО ЛЭП № 25 – выпадает за доверительный интервал (100% ПХП от общего числа найденных трупов) и исключается из дальнейшего рассмотрения. Медианное значение для оставшихся составило 25% ПХП. Среди оставшихся ЛЭП 3 линии попадают в 90% перцентиль по опасности ($p_{90} = 40,60\%$ ПХП от общего числа найденных трупов) – это уже рассмотренная нами «сотовая» ПО ЛЭП № 4 (51,4% ПХП), «полевая» ПО ЛЭП № 20 (50,4% ПХП) и «полевая» ПО ЛЭП № 2 (41,4% ПХП). Средняя плотность гибели ХП на «сотовой» линии составила 36 ПХП/км, на полевых – 4,36 ПХП/км и 10 ПХП/км соответственно. Низкая общая плотность гибели хищных птиц на ПО ЛЭП № 20 обусловлена её большой общей протяжённостью. Однако если рассмотреть один её отрезок – между опорами № 180 и № 230 – общей длиной 3,5 км, который проходит по остепнённым холмам с участками убранных полей, удалённый от ближайшего населённого пункта на 4,5 км, то тут плотность составит 10,6 ПХП/км или 0,74 ПХП на опору, а процент погибших хищников среди общего числа найденных трупов составит **88,1%** (37 из 42). Причины столь высокой плотности гибели ХП на данном участке заключены, вероятно, в холмистом рельефе, близости убранных полей, которые привлекают хищных птиц на пролёте, а также в наличии поблизости небольшой роши вязов, которые дают богатый ресурс для расположения на них гнёзд. Большинство погибших на этой линии хищников были пустельгами (71,4% от общего числа найденных трупов птиц), как сеголетки, так и взрослые птицы. Таким образом, **мы выявили три участка ЛЭП с максимальной летальностью среди хищных птиц.**

Пернатые хищники, занесённые в Красную книгу РФ, в основном гибли на «полевых» линиях (15 из 17 ос., 83,3%) – там были найдены все крупные орлы и балобаны. Ещё две особи (оба сапсаны) были найдены на «придорожных» ЛЭП вблизи населённых пунктов. Таким образом, можно констатировать, что именно «полевые» линии особенно опасны для «краснокнижных» видов.

Интересно будет рассмотреть две линии, идущие параллельно друг другу на расстоянии нескольких метров, и ведущие к сотовым вышкам на холме около села Новотроицкое. При расчёте плотности гибели птиц на ЛЭП обе линии были обчислены как одна ПО ЛЭП № 19. Однако интересный

by scavengers, and kites were still present in the area at the beginning of September.

It is also possible that we underestimate the number of birds in the groups “0–7 days” and “2–3 weeks” in August because of the presence of 19.8% of undated feather remains. However, we do not have enough evidence to decide to what extent this assumption is valid. Therefore, we can use two approaches to estimate the increase in bird mortality on UPL due to the onset of autumn migration (in September) comparing with the mortality rate at the end of the breeding season (in August):

1. Compare the sums of birds that positively died within a month before a survey (groups “0–7 days” and “2–3 weeks”). In August it would be 42 individuals, and in September – 106 individuals. That means 2.52 times higher mortality in September.

2. To assume that all undated feather remains found in August could also belong to the subset of birds that died within a month. Then we shall get 62 individuals in August versus 106 in September, which gives 1.71 times increase in bird mortality.

The first estimation probably is too high, while the second one for sure is too low. The real value is somewhere in between and close to 2.

The number of electrocuted raptors found during repeat surveys were 43 at the first examination (raptors remains accumulated through the whole breeding season) and 36 at the re-examination (accumulated in one month) (table 4). Result of dividing dead raptors into groups by the time since death is depicted in figure 15. The number of raptors who died within a week before the survey is about the same – 7 and 6 individuals in August and September, respectively. We can state that the departure of the majority of scavengers (Black Kites) did not cause the burst in the number of carcasses of raptors that remained intact at the site of death.

Our estimate of the difference in raptors mortality within the last month of the breeding season and the first month of migration, performed by analogy with the assessment for bird mortality in general, gave a rate between 1.15-fold and 1.48-fold growth in September. The lower estimate means no difference in mortality rate, and actually coincidence of the number of carcasses of 0–7 days old in August and September also evidence no changes.

It is important to note a great increase in the number of electrocuted raptors on the UPL No. 1 in September (table 4, fig. 16). In September, we found 12 raptors who died within a month there. In August, there were only 2

результат получается при рассмотрении их по отдельности. Одна из этих линий имеет только бетонные опоры, а другая – только деревянные. Среди опор деревянной ЛЭП большинство были безопасны для птиц, но на некоторых из них были установлены разъединители с заземлением, что делало их птицепопасными. В итоге мы выявили, что на 67 птицепопасных опорах бетонной ЛЭП общей протяжённостью 3,5 км погибло 56 птиц. А на параллельном отрезке деревянной ЛЭП аналогичной длины находилось всего 7 птицепопасных опор, но на них погибло 10 птиц. Итого, плотность погибших птиц на одну птицепопасную опору в бетонной линии составило 0,84 ос., а в деревянной – 1,43 ос. Кроме того, все найденные на этих линиях хищные птицы (две пустельги) погибли именно на опасных опорах деревянной ЛЭП. Основную же массу птиц, погибших на обеих линиях, составляли врановые (61 труп из 66). Из этого можно сделать вывод, что заземлённые деревянные опоры с площадками разъединителей особенно опасны для птиц, даже более, чем обыкновенные бетонные опоры.

Результаты повторных проверок одних и тех же участков

Повторная проверка 30,6 км линий (8 отдельных участков, 515 опор суммарно) не выявила больших различий в плотности погибших птиц, обнаруженных в августе и в сентябре. В августе под этими 515 опорами был обнаружен 101 птичий труп (средняя плотность – 3,3 ос./км или 0,20 ос./опора), а в сентябре – 114 трупов (средняя плотность – 3,73 ос./км или 0,22 ос./опора). При этом погибших хищных птиц в августе было обнаружено немного больше, чем в сентябре: 43 особи летом против 36 осенью (табл. 4).

Однако эти цифры предстают в совершенно ином свете, если учесть сроки гибели птиц. В августе были найдены останки птиц, погибших за летний сезон – минимум за три месяца, плюс более старые останки. А повторная проверка выявляет уровень гибели птиц лишь за период, прошедший с предыдущей проверки, который в нашей работе составил 1 месяц $\pm$ 5 дней. Поэтому для корректной оценки следует сравнивать между собой только число особей, погибших за одинаковый временной интервал.

Результат разделения всех найденных останков по группам с разным сроком гибели согласно описанию в методике приведён на рисунке 14. В августе были представлены все 5 групп: (1) погибшие в течение

of them, and the rest raptors which carcasses we found in August died earlier in the season. This growth is probably due to the location of this power line in the popular migration corridor. The number of dead birds revealed on this line in general also got a 2.7-fold growth in September. During the second survey on UPL No. 1, we found typical migrant species being killed here, such as Steppe Eagle, Mistle Thrush (*Turdus viscivorus*), Yellowhammer (*Emberiza citrinella*). On the rest of UPLs that were checked twice, the number of raptors electrocuted within a month got either no difference or was lower in September. For instance, on UPL No. 4 the number of electrocuted raptors reduced in September. So, the enhancing of raptor mortality from electrocution within the first month of migration significantly depends on the location of the power line. Power lines located in migration corridors pose an increasing danger during migration, while in the breeding season they could be “quiet”. It should be noted that the terms of our study did not involve the peak migration of many species of raptors that migrate through Khakassia in October. That means that the scale of raptor mortality on power lines in October could be even higher.

Species diversity

In total we recoded dead birds of 30 species on 26 examined UPLs. The most commonly, power lines killed synanthropic corvids – Magpies, Carrion Crows and Rooks – in total 520 individuals (62.7% from the total of killed birds) of these species. The other synanthropic species were killed not so often – Starlings (32 ind.), Jackdaws (*Corvus monedula*) (8 ind.), Rock Dove (*Columba livia*) (6 ind.). Another corvid species commonly killed by power lines is raven (22 ind.). The other 9 species of passerines were represented by 1–2 individuals (fig. 17). Besides passerines, we found remains of a Mallard (*Anas platyrhynchos*) and a Mongolian Gull (*Larus vegae mongolicus*). Raptors were represented by a large number of Common Kestrels (147 ind., 17.7% from the total of killed birds) and Black Kites (54 ind., 6.5%). We also recorded kills of Short-Eared Owl (*Asio flammeus*) (3 ind.), Snowy Owl (*Nyctea scandiaca*) (1 ind.), Common Buzzard (*Buteo buteo*) (3 ind.), Goshawk (*Accipiter gentilis*) (2 ind.), and Upland Buzzard (*Buteo hemilasius*). Species from the Red List of Russia were represented by Saker Falcon (4 ind.), Peregrine Falcon (4 ind.), Eastern Imperial Eagle (3 ind.), Steppe Eagle (2 ind.), and Golden Eagle (1 ind.). Old bone remains

недели, (2) погибшие от 1 до 3 недель назад, (3) погибшие от 1 до 4 месяцев назад, (4) очень старые останки и (5) с неустановленным сроком гибели (перьевые останки). В сентябре, при повторной проверке, мы уже не выявляли останков старше 1 месяца, за исключением редких случаев, когда удавалось найти останки, вероятно, пропущенные во время предыдущей проверки (группа «пропущенные», 7% от общего числа), чей возраст невозможно было достоверно ограничить 1 месяцем (отдельные перья, мумифицированные останки). Это могло произойти при значительном увеличении зоны осмотра по сравнению с предыдущей проверкой, при осмотре убранных полей, которые ранее были недоступны для осмотра, а также при осмотре зарослей бурьяна, густого в августе и уже полегшего в сентябре. Эту группу находок можно опустить из рассмотрения, поскольку они фактически представляют собой не повторную проверку ранее осмотренных опор, а первичный осмотр ранее недоступных территорий.

Табл. 4. Результаты повторных проверок одних и тех же участков ЛЭП в августе и в сентябре.

Table 4. Results of repeat surveys of power lines that were examined for the first time in August and re-checked a month later in September.

Гнездовой сезон (проверка в августе) / Breeding season (August survey)			
№	Длина, км Length, km	Погибшие птицы, ос. Electrocuted birds, ind.	Погибшие хищные птицы, ос. Electrocuted raptors, ind.
1	9.3	15	4
3	8.12	32	16
4	0.5	19	12
5	1.1	18	6
6	2.0	3	1
8	4.0	4	2
9	4.9	9	2
12	0.7	1	0
Итого Total	30.6	101	43
Осенняя миграция и кочёвки (проверка в сентябре) Beginning of autumn migration (September survey)			
№	Длина, км Length, km	Погибшие птицы, ос. Electrocuted birds, ind.	Погибшие хищные птицы, ос. Electrocuted raptors, ind.
1	9.3	40	14
3	8.12	22	7
4	0.5	16	6
5	1.1	8	1
6	2.0	4	1
8	4.0	6	1
9	4.9	14	5
12	0.7	4	1
Итого Total	30.6	114	36

of three more eagles we were able to identify only up to the genus *Aquila*.

During the August survey, we found dead birds of 17 species including 7 species of raptors. In September there were 25 species of birds electrocuted, including 12 species of raptors. Only in September there were fatalities with Golden Eagle (1 CY), Goshawks (1 CY both), Short-Eared Owls, Rock Doves, Jackdaws, and several passing species like Mistle Thrush (*Turdus viscivorus*), Meadow Bunting (*Emberiza cioides*), Yellowhammer, Pied Wheatear (*Oenanthe pleschanka*), European Nuthatch (*Sitta europaea*), and Barn Swallow (*Hirundo rustica*). Most of those birds died within 0–3 days, in some cases (some owls and jackdaws) up to two weeks before the survey. Thus, the death of these birds is directly connected with the implementation of their autumn migration or post-breeding dispersal behavior. Remains of a Snowy Owl and an Upland Buzzard found during the study were quite old – 3–4 months since death, thus these birds most probably died during spring migration or shortly after. In August there were just a few species that were not present in September set of dead birds, namely Mallard, Mongolian Gull, Northern Wheatear (*Oenanthe oenanthe*), White Wagtail (*Motacilla alba*), and Skylark (*Alauda arvensis*).

The highest species variability of electrocuted birds was observed on the “field” power lines with big length – UPL No. 1, 3, and 20 (see table 1). Especially high variability – 18 species of birds was noted on the UPL No. 3, which runs not far from the State Nature Reserve “Khakasskiy”.

Estimation of the amount of damage

Our estimation of the total amount of damage done to the avian population of Khakassia based on the actual number of electrocuted birds on 111.5 km of 10 kV powerlines is **RUB 18,045,689.18** (about EUR 204,000.00 or USD 243,770.00). The main impact was done by 17 specimens of endangered species listed in the Red Book of Russia (table 5, fig.18).

The mean damage done by one electric pole ($n=1721$ poles in total) is RUB 10,485.60, that is at least 10 times higher than the price of a set of bird-protection devices for a pole in 2020 (Leschinskaya, 2020).

Calculation of the disposal coefficient (DC) and re-estimation of the amount of damage

To estimate the real not observed damage to the avian population in the breeding season we calculated the disposal coefficient (DC). It

Рис. 14. Останки разной степени давности, найденные при повторных осмотрах.

Fig. 14. Carcasses found during repeated surveys grouped by the time since death.

Основное же количество останков, найденных в сентябре, представляли трупы птиц, погибших в промежутке между двумя проверками (93%).

Сравнение объёма соответствующих категорий в августе и сентябре показывает значительное увеличение количества птиц, погибших не позднее недели до проверки (категория 1) – их число в августовских проверках составило 13 особей, а в сентябре на тех же линиях было найдено уже 43 свежих трупа. Тут, конечно, роль мог сыграть отлёт основной массы коршунов, которые являются одними из главных утилизаторов падали, в результате чего больше трупов стали оставаться на месте гибели. Однако сравнение объёмов в категории 2, куда попадали трупы, не унесённые хищниками, а оставшиеся под опорами (проеденные или нетронутые), также показывает значительный прирост в сентябре – 29 трупов в августе против 63 в сентябре.

Можно допустить, что в августе часть останков, которые могли бы попасть в категорию 2, попали в группу «без даты», поскольку были представлены лишь отдельными перьями. Однако требуется больше данных, чтобы решить, в каком объёме такие допущения обоснованы.

Пока оценку изменения уровня гибели птиц на ПО ЛЭП в Хакасии в начале периода миграции по отношению к концу гнездового сезона можно дать в двух вариантах:

1) Из результатов повторных проверок отбросить все останки, для которых срок гибели не был установлен или превышал один месяц с момента обнаружения, и оставить лишь те, которые достоверно погибли в течение 1 месяца, предшествующего проверке (категории 1 и 2). В результате получим следующие цифры: 42

reflects the difference between the real number of birds that died on power lines and the number of actual findings of bird carcasses. The difference appears due to the complete disposal or carrying away of a share of corpses by scavengers.

Table 6 represents results of the surveys divided by seasons, in contrast to table 1 that present only a summary by each UPL. In table 7 surveys are divided by type (primary survey, full re-examination, partial re-examination) and all bird remains found during the study are divided by the time since death, which is necessary for calculating the DC. The calculation was done as described in the methods.

Based on a real number of week-old corpses we estimated a potential number of birds that could die in three weeks and three months and compared it with the actual number of three-week-old and three-month-old carcasses found. As an assumption, we adopted a linear model of bird fatality on power lines (i.e., the fatality rate is the same throughout the whole period) (1) during the breeding season and (2) at the beginning of migration. The number of birds that died within a week was chosen as a baseline due to the highest reliability of identifying the time since the death of such corpses. On this step, we already admit an error in our calculation because most of the small birds vanished from the place of death within a few hours, not even days. But it is applicable only for the DC of non-raptors.

By knowing the number of birds that died within a short period, we can make an estimation of the number of birds that should have died during a longer period, and we can compare the real number with a theoretical one.

Here is an example of calculating the DC for raptors in the breeding period. In August we found 9 raptors that died within a week

погибшие особи в августе и 106 погибших особей на тех же линиях в сентябре. Такая оценка даёт интенсификацию гибели птиц на ЛЭП в сентябре в 2,52 раза.

2) Аналогично первому варианту, но добавить к результатам проверок в августе всех особей из категории «без даты», что даст нам максимальную оценку возможного уровня гибели птиц за 1 месяц в конце гнездового периода – 62 особи. В сравнении со 106 особями, погибшими на тех же линиях за 1 месяц в начале периода миграции, получаем интенсификацию гибели в сентябре в 1,71 раза.

Первая оценка скорее всего завышена, а вторая очевидно занижена (не всех особей из категорий «без даты» правомерно относить к гибели птиц в течение месяца, предшествующего проверке в августе). Реальное значение интенсификации гибели птиц на ЛЭП во время первого месяца осенней миграции по сравнению с последним месяцем гнездового сезона лежит где-то между этими оценками и близко к 2.

Число трупов ХП в сентябре на дважды проверенных линиях было лишь немногим меньше, чем в августе – 36 шт. против 43 шт. (табл. 4). Таким образом, гибель пернатых хищников за сентябрь в целом ниже, чем на протяжении весенне-летнего сезона. Разделение найденных останков хищных птиц по срокам гибели приведено на рисунке 15. Количество останков возрастом не более 1 недели в августе и в сентябре на дважды проверенных участках совпадает (7 ос. и 6 ос., соответственно). Можно утверждать, что отлёт основной массы пернатых падальщиков не стал причиной того, что больше трупов хищных птиц стало оставаться нетронутыми на месте гибели. Оценка изменения уровня гибели хищных

on 47.2 km of power lines. Thus, the estimation of the actual number of fatalities within three weeks is $9 \times 3 = 27$ raptors, and during the whole season (3 months = 12 weeks) is $9 \times 12 = 108$ raptors. Without being consumed or removed by scavengers all of them should stay and decay just below the power lines. And the actual number of birds that died within three weeks found in August surveys was $(9 + 17) = 26$ raptors. Thus, the $DC_{\text{raptors_August}} = 27/26 = 1.04$. For the whole season we should calculate a ratio of 108 theoretical casualties to 51 actual ones (very old bone remains are not considered), so $DC_{\text{raptors_breeding_season}} = 2.1$.

In table 7 all DCs are present. It shows that in one month remains of dead raptors perfectly preserved under power lines – $DC_{\text{raptors_3weeks}}$ for both August and September are close to 1. Remains of non-raptors species preserve in a less degree – the $DC_{\text{non-raptors_3weeks}}$ for August is 1.26, and the mean value for September is 1.4.

For a longer period, DC is rising both for raptors and non-raptors. Assessment of DC for the whole breeding season done by the results of the August survey gave much lower DCs than the ones calculated by the September survey results (table 7). This is due to the fact that we did not take into account an intensification of bird casualties on power lines in September, which was described in a chapter “Results of repeat surveys”. The average growth of non-raptor mortality in September is 2.1 times and of raptor mortality is 1.3 times. We can make the calculation of $DC_{\text{breeding_season+September}}$ more accurate by adding a correction: the base level of birds that died in a week in September should be divided on the coefficient of mortality intensification before applying to summer months.

Рис. 15. Останки хищных птиц разной степени давности, найденные при повторных осмотрах.

Fig. 15. Carcasses of raptors found during repeated surveys grouped by the time since death.

Рис. 16. Птицеопасная ЛЭП № 1. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 16. Unsafe power line No 1. Photo by E. Shnayder.

птиц на ПО ЛЭП в начале периода миграции по отношению к концу гнездового сезона, выполненная по аналогии с оценкой для погибших птиц вообще, даёт нижний предел в 1,15 (отсутствие изменений), а верхний – в 1,48 раза. В принципе, совпадение по количеству числа трупов из категории 1 в августе и в сентябре также свидетельствует в пользу отсутствия изменений.

Важно отметить значительный прирост в сентябре числа погибших ХП на ПО ЛЭП № 1, идущей из посёлка Б. Сютик в Новомарьясово в Орджоникидзевском районе Хакасии (табл. 4, рис. 16). В сентябре на ней было обнаружено 12 трупов ХП, погибших не позднее чем за 3 недели до проверки. А во время проверки в августе было выявлено лишь два таких трупа, а все остальные ХП, найденные в августе на этой линии, погибли ранее в течение года. Такой существенный рост, видимо, связан с расположением данной линии в популярном миграционном коридоре. Общее число погибших птиц, выявленных на этой линии, также увеличилось в сентябре в 2,7 раза по сравнению с проверкой в августе (40 и 15 погибших птиц, соответственно). Во время повторной проверки тут были выявлены такие мигранты, как степной орёл, дрозд-деряба (*Turdus viscivorus*), обыкновенная овсянка (*Emberiza citrinella*). На всех остальных ЛЭП, проверенных дважды, количество ХП, погибших за 1 месяц, в сентябре либо не отличалось от значения в августе, либо было меньше, как, например, в случае линии № 4, где произошёл спад числа ХП, погибших не ранее, чем за 1 месяц до проверки, с 11 до 6 особей.

Таким образом, изменения в интенсивности гибели хищных птиц на ПО ЛЭП в начале периода миграции по сравнению с гнездовым сезоном очень сильно зависят от местоположения ЛЭП. ЛЭП, находящиеся в миграционном коридоре, представляют огромную опасность и должны быть переоборудованы самыми первыми. Следует отметить, что сентябрьская проверка не затронула пик пролёта многих видов хищных птиц, который в Хакасии наблюдается в октябре, а значит, масштабы гибели птиц на ЛЭП в октябре могут быть выше.

Here is an example for non-raptors. The base level of birds that died in a week is 85 specimens – it was observed in September. Thus, for the summer months the base level should be $85/2.1$ (mortality in September is 2.1 times higher than in August and we assumed a linear mortality level in summer). So, the theoretical number of birds that died in the whole season + September is $12 \text{ weeks of summer} \times 85/2.1 + 4 \text{ weeks of September} \times 85 = 825.7$ individuals. The practical number was 299, so the $DC_{\text{non-raptors, breeding season+September}} = 2.76$, which is much close to the value obtained by the results of the August survey. For raptors we shall get corrected $DC_{\text{raptors, breeding season+September}} = 2.93$.

The assumption we made about the linearity of bird mortality on power lines throughout the breeding season did not pay attention to the intensification of power line casualties happened after a) young birds fledge, and b) juveniles begin to disperse from the natal areas. Meanwhile, among electrocuted Golden Eagles, Peregrines, and Goshawks were only 1CY individuals. And the majority of Rooks, Ravens, and Magpies were also 1CY birds. But we do not have enough data to take this into account.

The main aim for the DC calculation was to re-estimate damage done to the avian population taking into account a potential level of bird mortality during the whole season. We shall use an average DC obtained for the breeding season that is $DC_{\text{average}} = 2.5$ both for raptors (2.12–2.93) and non-raptors (2.30–2.76) and apply it to the amount of damage calculated by the actual number of dead birds found. It gave us in total as much as **RUB 45,114,222.95 (EUR 501,219.00 or USD 590,817.00)**.

Extrapolation to the whole territory of Khakassia

We do not have access to a detailed map of the power network with an indication of

Оценка видового разнообразия погибших на ЛЭП птиц

Всего на ПО ЛЭП были найдены трупы 30 видов птиц. Наиболее часто встречались синантропные врановые трёх видов: сорока, ворона (*Corvus orientalis*) и грач (*Corvus frugilegus*) – суммарно 520 ос., 62,7%, намного реже – другие синантропные виды: скворцы (32 ос.), галки (*Corvus monedula*) (8 ос.), сизые голуби (*Columba livia*) (6 ос.). Ещё одним представителем врановых был ворон (*Corvus corax*) (22 ос.). Среди прочих мелких воробьиных птиц были встречены 9 видов, представленных по 1–2 особи (см. рис. 17). Помимо воробьиных, были найдены останки кряквы (*Anas platyrhynchos*) и монгольской чайки (*Larus mongolicus*). Хищные птицы в основном были представлены большим количеством пустельг (147 ос., 17,7% от общего числа птиц), а также коршунами (54 ос., 6,5%). Также были отмечены болотная сова (*Asio flammeus*) (3 ос.), полярная сова (*Nyctea scandiaca*) (1 ос.), канюк (*Buteo buteo*) (3 ос.), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*) (2 ос.) и мохноногий курганник (*Buteo hemilasius*). Виды из Красной книги РФ были представлены балобаном (4 ос.), сапсаном (4 ос.), орлом-могильником (3 ос.), степным орлом (2 ос.) и беркутом (1 ос.). Ещё три орла были идентифицированы только до рода *Aquila*.

Во время августовской проверки зафиксирована гибель птиц 17 видов, в том числе 7 видов пернатых хищников. В сентябре – 25 видов, в том числе все 12 видов ХП. Только в сентябре были зафиксированы случаи гибели на ЛЭП беркута-сеголетка, молодых ястребов-тетеревятников, болотных сов, сизых голубей, галок и ряда пролётных видов: дерябы (*Turdus viscivorus*), красноухой и обыкновенной овсянок (*Emberiza cioides*),

the type of pole, cross-arm, insulator, and wire of each power line in Khakassia if it ever exists. Thus, we do not know the actual length of 10 kV UPLs stretched across the open landscapes. In 2011, the total length of UPLs was estimated as 128 ± 4 km (Nikolenko, 2011). Since then, several tens of kilometers of UPLs were equipped with bird-protection devices and a number of new 10 kV power lines were mounted. Most of the new ones are equipped with aerial bundled cable. But there are some new ones that use uninsulated wire despite it is prohibited by law. Like UPL No. 13, that was launched at the beginning of September 2020.

In the course of this study, besides unsafe power lines No. 1–26 we also revealed several unsafe lines that we did not check either because the lines did not meet the criteria for examination or due to lack of time. Among them 4 power lines with total length exceeding 30 km in Beya, Askiz, and Ust-Abakan districts, a private line of 0.42 km length that we were not allowed to check, one line of more than 15 km length that was turned off for engineering works, and a 1.5 km line supplying a mobile tower that was also turned off because of a tower collapse. This last line of the “mobile” type is potentially very dangerous since it is located on a slope of a lonely hill in flat surroundings.

Taking all together, the total length of UPLs in the 5 surveyed districts of Khakassia is at least 158.5 km. Extrapolation of our results on this length is the following: without disposal coefficient, UPLs of Khakassia could kill as much as 1301 ind. per breeding season and total damage to avian population could exceed RUB 25,668,576.00, and with DC total mortality will exceed 3,252.50 ind./breeding season and damage – RUB 64,171,440.00 (EUR 723,310.00 or USD 864,246.00).

Рис. 17. Погибшие на ЛЭП представители семейства воробьиных: А – дрозд-деряба (*Turdus viscivorus*), В – овсянка обыкновенная, С – ласточка деревенская (*Hirundo rustica*). Фото Е. Шнайдер.

Fig. 17. Passerines that died from electrocution: А – a Mistle Thrush (*Turdus viscivorus*), В – a Yellowhammer, С – a Barn Swallow (*Hirundo rustica*). Photos by E. Shnyder.

каменки-пleshанки (*Oenanthe pleschanka*), поползня (*Sitta europaea*) и деревенской ласточки (*Hirundo rustica*). Большинство особей перечисленных выше видов погибли в срок 0–3 дня до проведения проверки, в отдельных случаях – до 2-х недель. Таким образом, гибель этих видов связана с реализацией их миграционного или кочевого поведения в осенний период. Обнаруженные во время проверок в сентябре трупы полярной совы и мохноногого курганника имели очень давние сроки гибели (более 2 месяцев) и их гибель на ЛЭП не была связана с началом осенней миграции. В сентябре не были отмечены случаи гибели краквы, монгольской чайки, обыкновенной каменки (*Oenanthe oenanthe*), белой трясогузки (*Motacilla alba*) и полевого жаворонка (*Alauda arvensis*), которые наблюдались во время проверки в августе.

Максимальное видовое разнообразие было отмечено на «полевых» линиях с высокой протяжённостью – это ПО ЛЭП № 1, 3, 20 (табл. 1). Особенно высоко было видовое разнообразие на линии № 3, проходящей близ кластера «Белё» Хакасского заповедника – 18 видов птиц.

Расчёт размера ущерба

Общий ущерб, нанесённый пернатому населению Республики Хакасия, по результатам нашего обследования составил 18 045 689,18 руб. Основной вклад в него внесли 17 особей, принадлежащих к видам, занесённым в Красную книгу РФ.

Птицеопасная ЛЭП № 3 с сидящими на ней скворцами (*Sturnus vulgaris*). Фото Е. Шнайдер.

Unsafe power line No. 3 with a flock of Starlings (*Sturnus vulgaris*). Photo by E. Shnyder.

Discussion

In this study, the average density of electrocuted birds was the highest on the power lines that supply mobile towers – 25.22 individuals per 1 km. It is much higher than the same parameter observed in 2010 (8.36 ind./km, Nikolenko, 2011). On the power lines running through open landscapes like pastures and fields, the average density of electrocutions was 8.70 ind./km, and on the power lines running along roads or settlements – 5.26 ind./km. In the 2010 study, field and roadside power lines were considered together and the density of dead birds there was only 4.32 ind./km. Even lower the mortality of birds was in the adjacent region bordering Khakassia from the north – in the southern part of Krasnoyarskiy Kray – 2.59 ind./km (min 0.64 ind./km – max 7.12 ind./km) which was examined in 2013 (Karyakin *et al.*, 2013). The increased mortality rate observed in our study is due to better coverage of the open habitats of the region. In 2010, surveys were conducted at the key areas with the highest density of breeding raptors, while other habitats were neglected. In 2020, we took into account areas with a low breeding density of raptors. A GPS/GSM

Рис. 18. Вклад особей из разных охранных категорий в общее число найденных погибших птиц (снизу) и в сумму общего ущерба (сверху).

Fig. 18. Contribution of species with different protection rank into the total number of dead birds found (below) and in total amount of calculated damage (above).

Суммарный ущерб, нанесённый в результате их гибели с учётом КИ, составил 13 962 689,6 руб. Суммарный ущерб, нанесённый в результате гибели видов, не внесённых в Красную книгу РФ и не отнесённых к охотничьим ресурсам, которых погибло 806 ос., составил 1 650 000 руб. * КИ = 4 077 599,6 руб. Ущерб, нанесённый охотничьим ресурсам в числе 7 ос., составил 1 800 руб. * К = 5 400 руб. На рис. 18 представлены пропорции вклада разных групп погибших птиц в общее число найденных останков и в суммарный ущерб в рублёвом эквиваленте.

Итого, суммарный ущерб, нанесённый животному миру РФ на линиях электропередачи в Хакасии, выявленный в результате проверок 111,5 км 10 кВ линий в пяти районах республики, составил 18 045 689,2 руб. (табл. 5).

Табл. 5. Расчёт суммарного ущерба животному миру исходя из числа найденных трупов птиц, погибших от поражения электрическим током.

Table 5. The amount of damage caused by power lines based on the number of bird species found dead due to electrocution.

Виды / Species	ос. ind.	Руб. за особь RUB per ind.	Итого с учётом КИ (К), руб. Total (applying KI or K), RUB
Красная книга РФ (КИ=2.47) / Red List of Russia (KI=2.47)			
Балобан / <i>Falco cherrug</i>	4	600 000	5,931,053.98
Сапсан / <i>Falco peregrinus</i>	4	600 000	5,931,053.98
Беркут / <i>Aquila chrysaetos</i>	1	300 000	741,381.75
Могильник <i>Aquila heliaca</i>	3	100 000	741,381.75
Степной орёл <i>Aquila nipalensis</i>	2	50 000	247,127.25
Орёл (вид не определён) <i>Aquila sp.</i>	3	50 000	370,690.87
Не включённые в Красную книгу РФ (КИ=2.47) Not enlisted in the Red List of Russia (KI=2.47)			
Соколинообразные Falconiformes	147	5 000	1,816,385.28
Ястребинообразные Accipitriformes	60	5 000	741,381.75
Совообразные Strigiformes	4	5 000	49,425.45
Ржанкообразные Charadriiformes	1	1 000	2,471.27
Воробьинообразные Passeriformes	594	1 000	1,467,935.85
Охотничьи (К=3) / Listed as game species (K=3)			
Голубинообразные Columbiformes	6	200	3,600
Кряква / Mallard	1	600	1,800
ИТОГО / TOTAL	830		18,045,689.18

Примечания / Notes:

КИ – коэффициент инфляции / inflation rate; К – пересчётный коэффициент для охотничьих видов / coefficient for game species.

tracking of juvenile Saker Falcons (Karyakin *et al.*, 2018b) revealed that during post-fledging dispersal 1CY birds are moving from highlands to lowlands in the central part of the Minusinsk Hollow where a high abundance of prey species is kept due to a low density of breeding raptors. The same is true for the Steppe Eagles who also make stopovers on migration in the similar areas, especially in the southern part of the Minusinsk Hollow in Khakassia (Karyakin *et al.*, 2019b). It is likely that other species got the same habit. That is why thorough examine of all types of open habitats at the end of summer and beginning of autumn gave us so high level of bird mortality, which was left unnoticed in 2010.

Raptors (12 species, 228 individuals) make 27.5% of the total number of killed birds. This is comparable with the results of 2010 (21.2%, Nikolenko, 2011).

More than two-fold increase of the number of bird casualties on power lines during the autumn migration is natural for many arid zones (Voronova *et al.*, 2012; Demerdzhiev, 2014; Dixon *et al.*, 2020; Mammadov, Matsyura, 2020), and Khakassia is not an exclusion (we revealed an average 2.1-fold increase). However, raptors considered separately show nearly no difference in August and September mortality rate (lower estimation – 1.15-fold increase in September, maximum – 1.48-fold). Khakassia is a northern range of the breeding area of many steppe raptors species that often die on power lines. But further to the north there are no big breeding population of these species, thus there is no intense migration of them through Khakassia in autumn, and no pronounced increase in the mortality rate of raptors due to migration. In Khakassia most electrocuted raptors are local breeders or their 1CY progeny.

Comparing with the steppes of Kazakhstan and Mongolia (and partly of the very south of Siberia), the peculiarity of Khakassia steppes is that immature raptors of many species do not form a big summer conglomeration here. In the areas where there are big conglomerations of non-breeding raptors, the mortality on power lines in summer could be even higher than during migration season (Barbazyuk *et al.*, 2020 provide an example from the Orenburg Region). Non-breeding convocation is natural for Eastern Imperial Eagles (Bragin *et al.*, 2011), Steppe Eagles (Belik *et al.*, 2015; Karyakin *et al.*, 2016a), and Black Kites (Popov, 2007). Since Black Kites, as well as Kestrels, are the most numerous raptors in the region, the presence of their summer conglomeration in the area crossed by an unsafe power

По результатам оценки общего ущерба, выявленного на проверенных линиях, где число осмотренных опор составило 1721 шт., средний ущерб на одну опору составил 10 485,6 руб., что как минимум в 10 раза выше, чем стоимость комплекта ПЗУ разных производителей (в 2020 г.) на одну опору (см. Лещинская, 2020).

Ущерб с учётом коэффициента утилизации

Для того чтобы примерно оценить ущерб, наносимый проверенными линиями за сезон, мы рассчитали коэффициент утилизации (КУ), который в определённой степени отражает разницу между реальным количеством погибших птиц и количеством останков, остающихся под опорами. Эта разница возникает вследствие утилизации трупов погибших птиц различными хищниками. Одни трупы хищники проедают без остатка, другие уносят прочь от места гибели. Зная КУ, можно более точно оценить количество погибающих на ЛЭП за сезон птиц.

В таблице 6 приведены данные по результатам отдельных проверок ЛЭП в августе и сентябре, в отличие от таблицы 1, где приведены совокупные результаты проверок за оба сезона. А в таблице 7 приведены результаты тех же проверок, но сгруппированные по срокам гибели птиц и типу проверки. Именно они нужны для оценки КУ.

Для оценки КУ мы берём общее число птиц, погибших за короткий срок перед проверкой. В нашем случае мы считали таким сроком 1 неделю – период, за который число погибших птиц было подсчитано с максимальной точностью. Конечно, уже здесь возникает погрешность – большинство останков самых мелких птиц исчезают в первые же сутки после гибели. Однако рассчитывать КУ для птиц разного размера в данной работе не представляется целесообразным. Тем более, что расчёта КУ для хищных птиц ошибка не коснётся.

Зная достаточно точно число птиц, погибающих за короткий период, можно вычислить, сколько птиц должно было погибнуть за более длительный период на тех же ЛЭП при условии, что мы допускаем, что гибель птиц на ЛЭП происходит с одинаковой интенсивностью в течение всего периода, за который вычисляется КУ. КУ является отношением теоретического числа погибших за период птиц к числу реально найденных останков, датированных тем же периодом.

line will significantly increase the number of fatalities in the breeding season and will made nearly no effect on the autumn mortality rate due to their early departure to the wintering grounds. Tracking of Eastern Imperial (Karyakin *et al.*, 2018c) and Steppe Eagles (Karyakin *et al.*, 2019b) revealed that immature eagles prefer more southern regions than Southern Siberia. Thus, despite a share of electrocuted eagles among other species is rather high here (Karyakin *et al.*, 2009), the difference between summer and autumn mortality rate is low everywhere in the Altai-Sayan Ecoregion, and Khakassia is a good example.

In the present study, we revealed an increased level of mortality of birds on wooden poles with linear disconnectors. Such poles are usually a minor part of conditionally safe lines equipped predominantly with not electrically grounded wooden poles without cross-arms. The same trend was noted before (Matsyna, Zamazkin, 2010; Goroshko, 2011; Demeter *et al.*, 2018). O.A. Goroshko (2011) in his work emphasized that the highest bird mortality rate from electrocution (1.42 ind. per pylon) in Dauria was observed on concrete poles (most commonly with push-bracers) inserted in the wooden line.

The explanation of this phenomenon is simple. On one hand, a metal frame of linear disconnector (LD) is perching-attractive, but it also increases the chance to get in contact with a hot wire and make a short circuit. Many perching attempts end this way (fig. 19). On the other hand, regular wooden poles are safe for perching, and birds are used to it. It is obvious by the results of live bird observations (table 2). Thus, from a synthesis of a safe wooden power line and the inclusion of sparse dangerous poles with LD, a particularly dangerous power line arose.

It is probable that type of a pole is a factor of selection. In the area with different types of power lines, a better survival rate would be among individuals who avoid unsafe poles. Ones who prefer concrete poles are vanishing. In contrast, those who prefer wooden poles survive and make a population stereotype. That is why we observe most of the live birds on wooden lines (fig. 20), and that is why grounded wooden poles with metal pieces deceive and kill so many birds. Since a share of grounded wooden poles with linear disconnectors is scanty comparing with a share of common concrete poles, their effect on the avian population is not so fatal, and the behavioral stereotype to perch on a wooden pole will survive.

Khakassia still got a vast grid of power lines with simple wooden poles. Power lines

Табл. 6. Итоги проверок ПО ЛЭП по сезонам.

Table 6. Summary of data obtained during examination of unsafe power lines divided by seasons.

Гнездовой сезон (проверка в августе) / Breeding season (August checking)							
№	Тип проверки Examination type	Тип линии Line type	Длина, км Length, km	Число опор, опасных для птиц Number of unsafe power poles	Погибшие птицы, ос. Electrocuted birds, ind.	Погибшие хищные птицы, ос. Electrocuted raptors, ind.	Погибшие птицы из КК РФ, ос. Electrocuted endan- gered raptors, ind.
1	E	F	9.3	164	15	4	0
3	E	F	8.1	141	32	16	6
4	E	S	0.5	9	19	12	0
5	E	F	1.1	20	18	6	1
6	E	R	2.0	34	3	1	0
8	E	R	4.0	63	4	2	0
9	E	F	4.9	70	9	2	1
12	E	R	11.3	170	60	9	0
14	E	R	2.0	38	7	0	0
15	E	F	0.3	5	0	0	0
16	E	R	3.8	84	13	1	0
Всего / Total			47.2	798	180	53	8
Гнездовой сезон + миграции (проверка в сентябре) / Breeding season + beginning of migration (September checking)							
№	Тип проверки Examination type	Тип линии Line type	Длина, км Length, km	Число опор, опасных для птиц Number of unsafe power poles	Погибшие птицы, ос. Electrocuted birds, ind.	Погибшие хищные птицы, ос. Electrocuted raptors, ind.	Погибшие птицы из КК РФ, ос. Electrocuted endan- gered raptors, ind.
1	pR	F	13.0	230	58	20	2
2	E	F	1.2	27	29	12	0
3	pR	F	12.0	213	92	18	1
4	FR	S	0.5	9	16	6	0
5	FR	F	1.1	20	8	1	0
6	pR	R	4.8	82	5	2	0
7	E	R	0.6	13	12	2	0
8	FR	R	4.0	63	6	1	0
9	FR	F	4.9	70	14	5	0
10	E	R	1.5	23	4	0	0
11	E	F	6.5	104	46	17	2
12	FR	R	0.7	14	4	1	0
13	E	R	1.6	34	4	1	0
17	E	F	3.5	71	43	3	1
18	E	R	4.2	86	45	11	1
19	E	S	3.5	74	66	2	0
20	E	F	14.0	193	121	61	1
21	E	F	1.6	20	14	5	0
22	E	R	1.5	33	16	0	0
23	E	R	0.4	7	4	0	0
24	E	S	0.6	12	14	1	0
25	E	R	0.4	7	2	2	1
Всего / Total			81.9	1405	623	171	9

Примечания / Notes:

E – первичная проверка / first examination; FR – полная повторная проверка / full re-examination; pR – частичная повторная проверка / partial re-examination;

S – «сотовая» линия/ mobile tower supplying line; F – «полевая» линия/ field line; R – «придорожная» линия/ roadside line.

Табл. 7. Общее число погибших птиц, сгруппированное по срокам их гибели относительно даты проверки с целью расчёта коэффициента утилизации (КУ).

Table 7. Number of dead birds grouped by the time since death for the purpose of the Disposal Coefficient (DC) calculation.

Гнездовой сезон: 3 месяца с июня (проверка в августе) Breeding season: 3 months starting from June (primary August UPLs survey)											
Не хищные птицы / Non-raptors						Хищные птицы / Raptors					
№	Тип проверки Examination type	Длина, км Length, km	1 нед. 1 week	3 нед. 3 weeks	Весь сезон Whole season	Погибли ранее Died earlier	1 нед. 1 week	3 нед. 3 weeks	Весь сезон Whole season	Погибли ранее Died earlier	
1	E	9.3	4	4	11	0	1	2	4	0	
3	E	8.1	0	7	15	1	2	5	15	1	
4	E	0.5	1	2	7	0	4	11	12	0	
5	E	1.1	0	2	12	0	0	2	6	0	
6	E	2.0	0	1	2	0	0	0	1	0	
8	E	4.0	0	0	2	0	0	1	1	1	
9	E	4.9	1	4	7	0	0	0	2	0	
12	E	11.3	12	27	51	0	2	5	9	0	
14	E	2.0	2	3	6	1	0	0	0	0	
15	E	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	E	3.8	4	7	12	0	0	0	1	0	
Всего / Total		47.2	24	57	125	2	9	26	51	2	
КУ / DC			1.00	1.26	2.30		1.00	1.04	2.12		
Начало миграции: сентябрь (участки, проверенные в сентябре повторно) Onset of migration: September (re-examination of UPLs in September)											
Не хищные птицы / Non-raptors						Хищные птицы / Raptors					
№	Тип проверки Examination type	Длина, км Length, km	1 нед. 1 week	3 нед. 3 weeks	Весь сезон Whole season	Погибли ранее Died earlier	1 нед. 1 week	3 нед. 3 weeks	Весь сезон Whole season	Погибли ранее Died earlier	
1	pR	13.0	12	24	-	2	2	12	-	0	
3	pR	12.0	8	14	-	1	0	6	-	0	
4	FR	0.5	6	10	-	0	2	6	-	0	
5	FR	1.1	2	7	-	0	1	1	-	0	
6	pR	4.8	2	3	-	0	0	0	-	0	
8	FR	4.0	1	5	-	0	0	1	-	0	
9	FR	4.9	4	9	-	0	1	5	-	0	
12	FR	0.7	2	3	-	0	0	0	-	0	
Всего / Total		41.0	37	75	-	3	6	31	-	0	
КУ / DC			1.00	1.48			1.00	<1			
Гнездовой сезон + миграции: 4 месяца с июня (проверка в сентябре) Breeding season + onset of migration: 4 months starting from June (primary examination of lines in September)											
Не хищные птицы / Non-raptors						Хищные птицы / Raptors					
№	Тип проверки Examination type	Длина, км Length, km	1 нед. 1 week	3 нед. 3 weeks	Весь сезон Whole season	Погибли ранее Died earlier	1 нед. 1 week	3 нед. 3 weeks	Весь сезон Whole season	Погибли ранее Died earlier	
2	E	1.2	3	12	17	0	2	8	12	0	
7	E	0.6	0	2	10	0	0	0	2	0	
10	E	1.5	3	4	4	0	0	0	0	0	
11	E	6.5	14	21	29	0	4	9	14	3	
17	E	3.5	8	25	40	0	1	1	3	0	
18	E	4.2	9	19	34	0	3	6	11	0	
19	E	3.5	16	41	64	0	0	0	2	0	
20	E	14.0	19	45	60	0	14	43	61	0	
21	E	1.6	1	5	8	1	0	4	5	0	
22	E	1.5	5	11	16	0	0	0	0	0	
23	E	0.4	1	4	4	0	0	0	0	0	
24	E	0.6	6	6	13	0	0	0	1	0	
25	E	0.4	0	0	0	0	1	1	2	0	
Всего / Total		39	85	195	299	1	25	72	113	3	
КУ / DC			1.00	1.31	4.55		1.00	1.04	3.54		

Примечания / Notes:

E – первичная проверка / first examination; FR – полная повторная проверка / full re-examination; pR – частичная повторная проверка / partial re-examination.

Приведём для примера расчёт КУ по хишным птицам за летний период. В августе на 47,2 км ПО ЛЭП нами было обнаружено 9 особей погибших ХП с недельным сроком давности. Из этого следует, что при сохранении такого же уровня гибели ХП в предыдущие месяцы, за три недели на этих же ЛЭП должно было погибнуть 27 ХП, а за гнездовой сезон (условно 3 месяца = 12 недель) – 108 особей ХП. При этом во время проверок этих 47,2 км нами было обнаружено 26 погибших особей, датированных 3 неделями (9+17 ос.), и 51 особь всего за всю проверку, не учитывая очень старые костные останки, которые явно сохранились ещё с прошлого сезона. Таким образом, для 1 месяца $KU_{ХП_конец_лета} = 27/26 = 1,04$ (утилизация трупов отсутствовала, все останки сохранились на местах гибели и были найдены во время проверки). А для всего сезона $KU_{ХП_лето} = 108/51 = 2,1$.

Размер остальных КУ приведён в таблице 7. Из полученных результатов следует, что в течение 1 месяца останки ХП, погибших на ЛЭП, отлично сохраняются под опорами – коэффициент утилизации слабо отличается от 1. Останки не хишных птиц сохраняются хуже, и для августа – сентября коэффициент их утилизации в среднем составляет 1,35. В более долгосрочной перспективе КУ возрастает как для хишных, так и для не хишных птиц. Максимальные КУ мы получили, используя данные первичных проверок в сентябре. В этом случае мы предположили, что интенсивность гибели птиц в гнездовой сезон аналогична увиденной нами в сентябре. Однако в главе «Результаты повторных проверок» мы показали, что в сентябре гибель птиц на ПО ЛЭП происходит более интенсивно, чем в августе (в 1,71–2,52 раза для не хишных птиц и в 1,15–1,48, в среднем 1,3 – для хишных). То есть для более корректной оценки КУ по данным первичных проверок в сентябре базовое число особей, гибнущих в течение недели, следует делить на полученный коэффициент, применяя его к летним месяцам. Поскольку точного коэффициента интенсификации гибели птиц на ЛЭП мы не получили, то можем лишь приблизительно оценить его влияние на КУ, воспользовавшись усреднёнными значениями (2,1 для не хишных птиц и 1,3 для хишных). В таком случае теоретическое число погибших птиц за сезон рассчитывается по формуле:

- для не хишных птиц: 85 особей за неделю (базовый уровень сентября, реально

stretching in Ust-Abakan district near the State Nature Reserve “Khakasskiy” are good examples (fig. 20). In the post-breeding period these lines are so popular among raptors and corvids that in good weather one can hardly find a pole without a perching bird or an empty wire. Hence, a replacement of any wooden pole with a concrete one or fitting a linear disconnector will cause colossal damage to the avian population. Meanwhile, we already observe the detrimental practice of such replacements in Khakassia. To avoid a catastrophe all replacements should be accompanied by equipping new poles with bird-protection devices.

Summary

1. Illegal operation and construction of unsafe for birds 6–10 kV power lines are continuing in Khakassia.

2. The high mortality rate of birds due to electrocution on unsafe 6–10 kV power lines persists in Khakassia. The average mortality rate in the breeding season is 8.21 individuals per 1 km of the power line.

3. The most dangerous are power lines with concrete poles and grounded metal cross-arms with pin insulators running through open landscapes away from human settlements. They got the highest species diversity of killed birds, including birds of prey and owls, many of which are enlisted in the Red List. Short power lines protruding in the surrounding landscapes and lines running through hilly terrain are especially dangerous.

4. Lines located on migratory pathways represent a high level of danger for birds in September. The terms of our study were not focused on revealing such lines, thus we found only one of this type, but there must be more of them.

5. In September, with the onset of migration, power lines kill about 2.1 times more birds than in August.

6. Corvids dominated among electrocuted birds (66%). The share of raptors is 28%, and the most common species are Common Kestrel (17.7%) and Black Kite (6.5%), that is natural for the forest-steppe biotopes of Russia.

7. The amount of damage done to the avian population calculated by the actual number of dead birds found on 111,5 km of unsafe power lines is RUB 18,100,000.00.

8. The total amount of damage done to the avian population estimated for the power grid of Khakassia is more than RUB 64,171,440.00 per year. At least 3,252.00 birds died each breeding season on the power infrastructure of Khakassia.

9. The average damage per one electric pole calculated by the actual results of the survey is RUB 10,485.60 that is at least 10 times

найденные останки) * 4 недели сентября + 85/2,1 (базовый уровень/коэфф. интенсификации гибели в сентябре) * 12 недель летних месяцев = 825,7 особей.

- для хищных: $25 \cdot 4 + 25/1,3 \cdot 12 = 330$ особей.

На практике мы обнаружили 299 ос. не хищных птиц и $KY=2,76$. Хищных – 113 ос., $KY=2,93$. В таком виде KY для полного сезона, рассчитанные по результатам первичных проверок в сентябре, уже гораздо меньше отличаются от KY для гнездового сезона, рассчитанные по результатам первичных проверок в августе.

Наше предположение о линейном характере гибели птиц на ЛЭП в течение сезона исключает из рассмотрения факт того, что смертность птиц после вылета птенцов из гнёзд увеличивается пропорционально размерам выводков. Между тем, беркут, сапсан и тетеревятник были представлены только молодыми особями, и подавляющая масса погибших грачей и сорок также была сеголетками.

В итоге мы получили KY за гнездовой сезон для не хищных птиц в пределах 2,30–2,76, а для хищных – 2,12–2,93. Большое отличие в KY для ХП говорит о том, что присутствуют иные неучтённые факторы, такие как, например, интенсификация гибели птиц на ЛЭП после появления слётков в июне.

Основной целью расчёта KY было более точное вычисление ущерба за гнездовой сезон. Воспользуемся средними результатами – $KY_{\text{ср.}} = 2,5$ для ХП и $KY_{\text{ср.}} = 2,5$ для не ХП. Это означает, что ущерб, нанесённый осмотровыми ПО ЛЭП за гнездовой сезон, составил **45 114 222,95 руб.**

Экстраполяция результатов на территорию Хакасии

В связи с отсутствием у нас поопорных схем с указанными в них типами опор и траверс, а также марки провода, сложно сделать заключение об общей протяжённости ПО ЛЭП, а следовательно, и об общем уровне гибели птиц во всех открытых местообитаниях Хакасии. В 2011 г. протяжённость птицепасных ЛЭП в Минусинской котловине Хакасии была оценена в 128 ± 4 км (Николенко, 2011). С тех пор в Республике Хакасия было оснащено птицезащитными устройствами несколько десятков километров ПО ЛЭП, но при этом общая протяжённость ЛЭП 10 кВ увеличилась ещё больше. Большая часть новых ЛЭП на бетонных опорах была оснащена самонесущим изолированным проводом

higher than the expenses for equipping a pole with bird protecting devices.

10. There is an urgent need to retrofit unsafe power lines making them safe for birds. Field lines located in the hills away from settlements, especially ones stretching close to existing and planning State and Regional Nature Reserves, should be prioritized.

Mitigation measure proposal

Information collected in our research was sent to the Khakassia unit “KhakasEnergO” of the Interregional Distribution Grid Company of Siberia for phased implementation of the mitigation measures.

For the first step we recommend to equip all concrete poles of mobile and field power lines, as well as all linear disconnectors revealed during our work with bird-protection devices (PBD). We recommend plastic BPD covering insulator and adjacent part of a wire produced by domestic manufacturers (“Эко-НИОКР”, “ИТС”, “Авис”). There is a chance that by the spring of 2021 the most dangerous power lines located near protected areas would become safe. This measure will significantly decrease the number of electrocuted birds.

For the second step (should be applied during the summer of 2021), we recommend to equip roadside lines with BPDs, and to take inventory of unsafe lines and sole poles with linear disconnectors that were not examined in the present work, to subsequently equip them with BPDs in 2022.

It is necessary to prohibit the use of concrete pylons and uninsulated conductors in the open landscapes at the level of the regional power unit “KhakasEnergO”. This will ensure that retrofitting of old wooden poles will not negatively affect the safeness of the line.

Planned reconstruction of power lines in the open terrain should consider the safety of birds. The priority should be given to (1) underground lines, (2) wooden poles without cross-arms, and (3) lines with aerial bundled cable without spark gap protection against lightning overvoltage (Vinogradov, 2009) or with gapless lightning arresters. The requirement about special type of overvoltage protection is mandatory since bird electrocution on aerial bundled cables with spark gaps is already examined in Kazakhstan (Pestov *et al.*, 2020) and Russia (author's observation).

Funding

The work is conducted within the frames of the “Birds and Power Lines” project of the Russian Raptors Research and Conservation Network under the contract No. 2020.080.K “Survey of breeding groups of Steppe Eagle, Eastern Imperial Eagle, Saker Falcon, Peregrine Falcon, and Gyrfalcon in the Khakassia

(СИП-3). Но были сооружены и опасные для птиц ЛЭП, в том числе особо опасные конструкции – спроектированные под СИП-3 (с металлическими траверсами на бетонных опорах и тремя штыревыми изоляторами на Т-образных металлических траверсах), но оснащённые неизолированным проводом. Отсутствие точных данных не позволяет нам сделать более или менее точную оценку ущерба для всей Минусинской котловины в Хакасии.

Фактически в 2020 г. было осмотрено 111,5 км ПО ЛЭП. Помимо них, были выявлены, но не осмотрены 4 линии общей протяжённостью не менее 30 км в Бейском, Аскизском и Усть-Абаканском р-нах, короткая птицепасная отпайка около пос. Маткетчик протяжённостью 0,42 км, которую не удалось проверить ввиду её расположения на частной территории, также были осмотрены две линии 10 кВ на бетонных опорах, которые в момент проверки были отключены в связи с ремонтом или аварией – это линия в пос. Джирим длиной в 1,5 км, но идущая на холм к сотовой вышке и потенциально очень опасная для птиц, и линия, соединяющая трассы на Бею (Р412) и Саяногорск (Р411), длиной более 15 км, идущая через пахотные земли. Учитывая эти сведения, протяжённость ПО ЛЭП только на обследованной территории составляет минимум 158,5 км. На этих ЛЭП гибель птиц может составлять 1301 ос. за летний сезон, а ущерб – превышать 25 668 576 руб./год. А с учётом коэффициента утилизации, общая гибель на 158,5 км ПО ЛЭП Хакасии превысит 3 252,5 ос. за летний сезон, а ущерб – 64 171 440 руб./год.

Обсуждение

Средняя плотность погибших птиц в данном исследовании оказалась самой высокой на «сотовых» ЛЭП – **25,22 ос./км**, или 1,21 ос./опора. Этот показатель значительно выше аналогичного, полученного для Хакасии в 2010 г. (8,36 ос./км, см. Николенко, 2011). На «полевых» ЛЭП плотность погибших птиц составила **8,70 ос./км**, или 0,53 особей на опору, на «придорожных» – линиях вдоль автодороги и на окраине населённых пунктов – **5,26 ос./км**, или 0,32 ос./опора. В статье Э.Г. Николенко (2011) «полевые» и «придорожные» линии рассматривались совокупно и плотность погибших птиц на них составила 4,32 ос./км, что также меньше, чем в нашем исследовании. Ещё ниже уровень смертности птиц на ЛЭП наблюдался на севере Минусин-

Republic except for the territory of the State Nature Reserve” between the LLC “Siberian Environmental Center” and the Siberian Federal University from June 11, 2020, commissioned by the Ministry of Natural Resources of Khakassia. Fieldworks were supported by the Alta-Sayan branch of the WWF Russia, foundation “World around You” of the Siberian Wellness Corporation, The Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund (Project 202523960), and the State Nature Reserve “Khakasskiy”.

Acknowledgments

We want to thank Snezhana Paradnikova and Maxim Zasulevich who are the volunteers of the Wildlife Rehabilitation Center in Novosibirsk, and also members of the Directorate for Specially Protected Areas in Khakassia – Nadezhda Dzingel, Roman Torin, Aleksandr Erbes, and Yuriy Kurichka for participating in the fieldwork. A special gratitude to Aleksandr Shifman and Dmitry Bugaev who are the State Inspectors of the Ministry of Natural Resources whose effective actions resulted in prompt drawing up an incident reports on the facts of electrocution of endangered species.

Упавшая вышка сотовой связи у с. Джирим.
Фото Е. Шнайдер.

*Collapsed mobile tower in the village of Jirim.
Photo by E. Shnayder.*

ской котловины в пределах Красноярского края в исследовании 2013 г. – 2,59 ос./км, от 0,64 до 7,12 ос./км (Карякин и др., 2013). Увеличение уровня гибели птиц в нашем исследовании по сравнению с таковым 2011 и 2013 гг. можно напрямую связать с более полным охватом открытых местообитаний Минусинской котловины. В исследованиях 2010 г. акцент был сделан на территориях с максимальной плотностью хищных птиц на гнездовании, в то

время как территории, на которых плотность гнездящихся птиц низка в силу их ландшафтных особенностей, не осматривалась. В 2020 г. были более полно охвачены оба типа местообитаний, и не только на севере, но и в центре, и на юге Минусинской котловины. Как показало GPS/GSM прослеживание балобанов (Карякин и др., 2018b), молодые птицы после сезона гнездования уходят с гор в центральную часть Минусинской котловины, где кочуют в открытых местообитаниях, в которых в гнездовой сезон плотность хищных птиц была минимальной, а значит, осенью сохраняется обильный кормовой ресурс в виде грызунов и мелких воробьиных птиц. То же самое можно сказать и о степных орлах, которые мигрируют через такие территории, иногда задерживаясь на них на кормёжку, особенно в южной части Минусинской котловины (Карякин и др., 2019b). Видимо, такое же поведение характерно и для других видов хищных птиц, мигрирующих через Минусинскую котловину. Поэтому при более полном обследовании ЛЭП в конце лета и осенью во всех типах открытых местообитаний, как с низкой гнездовой плотностью хищников, так и с высокой, как на севере, так в центре и на юге Минусинской котловины, мы получаем более высокий уровень гибели, который, видимо, наиболее близок к реальному и остался незамеченным в исследовании 2010 г.

Хищные птицы (12 видов) в данном исследовании составляли 27,5% от всех погибших на ЛЭП птиц ($n=228$), что сравнимо с результатами исследования 2010 г. в Минусинской котловине. Доля пернатых хищников в том исследовании (см. Николенко, 2011) составила 21,2%, что, видимо, характерно для Хакасии.

Более чем двукратное увеличение уровня смертности птиц на ЛЭП в период осенней миграции характерно для многих аридных территорий (Воронова и др., 2012; Demerdzhiev, 2014; Dixon *et al.*, 2020; Mammadov, Matsyura, 2020), и Хакасия здесь не стала исключением (мы выявили увеличение в среднем в 2,1 раза). Однако в уровне гибели хищных птиц существенной разницы между гнездовым сезоном и началом миграции мы не выявили (найденное отличие – по нижней оценке в 1,15 раза, максимум – в 1,48 раза). В Хакасии практически все степные виды хищных птиц, которые часто гибнут на ЛЭП, находятся на северной границе своего распространения. Но так как се-

вернее Хакасии нет их крупных гнездовых группировок, то и интенсивной миграции таких видов через Хакасию тоже нет, а значит, нет серьёзного увеличения осенней смертности по сравнению с гнездовым периодом среди пернатых хищников. В Хакасии большинство погибших на ЛЭП хищных птиц – это местные гнездящиеся пары и их сеголетки.

На фоне расположенных южнее настоящих степных территорий Республика Хакасия выделяется тем, что в ней молодёжь ряда видов хищных птиц не формирует крупных негнездовых скоплений. В тех районах, где хищные птицы формируют негнездовые скопления, смертность на ЛЭП в летний период бывает даже выше, чем в миграционный (см., например, Барбазюк и др., 2010 в Восточном Оренбуржье). Негнездовые скопления характерны для орлов-могильников (см. Брагин и др., 2011), степных орлов (см. Белик и др., 2015; Карякин и др., 2016a) или коршунов (Попов, 2007). Последние, в связи с их наибольшей численностью среди хищных птиц, наряду с пустельгами, наиболее часто погибают на ЛЭП, поэтому вносят весомый вклад в общий уровень смертности. И при наличии негнездовых скоплений коршуна на территориях, через которые проходят ПО ЛЭП, будет наблюдаться очевидный перекоп в сторону увеличения уровня гибели в гнездовой период, нежели в миграционный (особенно учитывая то, что коршун – один из ранних осенних мигрантов). Изучение перемещений орлов-могильников (Карякин и др., 2018c) и степных орлов (Карякин и др., 2019b), помеченных трекерами, показало, что орлы предпочитают кочевать до половой зрелости по более южным районам, нежели Алтай-Саянский регион. Поэтому в Алтай-Саянском регионе при достаточно высокой доле погибших орлов в общей выборке птиц, погибших на ЛЭП (см. Карякин и др., 2009), разница между летним и осенним уровнями смертности хищных птиц не такая уж значительная, и Хакасия – тому пример.

Повышенный уровень гибели птиц в данном исследовании отмечен на деревянных опорах ЛЭП с разъединителями в условно безопасных линиях, большинство опор в которых являются деревянными бестраверсными незаземлёнными. Большая птицепопасность угловых опор и опор с разъединителями отмечалась и ранее (см. Машына, Замазкин, 2010; Горошко, 2011; Demeter *et al.*, 2018). Причём О.А. Горош-

Рис. 19. Ворон (слева) и сорока (справа), погибшие на линейных разъединителях. Фото Е. Шнайдер.

Fig. 19. A Raven (left) and a Magpie (right), both died from electrocution on linear disconnectors. Photos by E. Shnyder.

ко (2011) специально акцентировал внимание на том, что в Даурии наиболее высокий уровень гибели (1,42 птицы на 1 опору) оказался на анкерных и угловых бетонных опорах линий, промежуточные опоры в которых были деревянными.

С одной стороны, конструкция линейного разъединителя более удобна для посадки птиц и за счёт металлической рамы увеличивает площадь возможного поражения электотоком при контакте птицы, сидящей на раме, с токонесущим проводом (см. рис. 19). Следовательно, большая доля посадок птиц на такую конструкцию будет заканчиваться летальным исходом. С другой стороны, деревянные опоры, являясь в большинстве случаев безопасными, привлекают птиц как присады – это хорошо видно по выборке наблюдений живых птиц, использовавших разные типы опор в качестве присад в данном исследовании (см. табл. 2). Что из вышеприведённого (конструкция опоры или тяготение птиц к использованию деревянных опор) является основной причиной увеличения уровня гибели птиц на деревянных опорах ЛЭП с линейными разъединителями в настоящее время можно только догадываться, так как целевых исследований в данном направлении не проводилось.

Наблюдениями в Оренбургской области также показано, что при наличии в ЛЭП опасных бетонных опор с металлическими траверсами и безопасных деревянных безтраверсных, степные орлы предпочитают в качестве присад вершины деревянных опор (Барбазюк, Петришев, 2011). Авторами сделан вывод о том, что вершины деревянных опор удобнее керамических изоляторов и железных траверс бетонных опор, но возможно, причина кроется в популяционных стереотипах. Исследования в Казахстане показали, что на территориях с сохраняющейся инфраструктурой обесто-

ченных ЛЭП, где в одинаковом количестве встречаются деревянные и бетонные опоры, орлы не делают выбора между типом опоры, используя их в качестве присад, и одинаково охотно присаживаются как на металлические траверсы бетонных опор, так и на вершины деревянных (И.В. Карякин, перс. данные). Возможно, тип опоры служит фактором отбора, так как на территориях, где большая часть ЛЭП функционирует, выживают в основном особи, использующие для присад деревянные бестраверсные опоры, а не бетонные опоры с металлическими траверсами. Птицы, которые предпочитают сидеть на бетонных опорах, погибают и не формируют популяционного стереотипа. Птицы, которые предпочитают сидеть на деревянных опорах, выживают. Поэтому на линиях с деревянными опорами и наблюдается максимальное количество живых птиц из тех, которые используют опоры ЛЭП в качестве присад (рис. 20). По этой же причине на заземлённых деревянных опорах регистрируется более высокий уровень гибели птиц, чем на бетонных. Потому что живых птиц, присаживающихся на деревянные опоры, больше, и они не оценивают и не понимают опасности, исходящей от заземления. В силу незначительного количества опор с линейными разъединителями в ЛЭП с деревянными опорами, их влияние на птиц не так фатально, как влияние бетонных опор, поэтому «стереотип присаживания на бетонные опоры» достаточно быстро «выбывается» из популяции того или иного вида, а «стереотип присаживания на деревянные опоры» сохраняется.

В Хакасии до сих пор большую протяжённость имеют ЛЭП на деревянных опорах, которые используются огромным числом хищных птиц. В качестве примера можно привести деревянные линии Усть-Абаканского района в окрестностях

Рис. 19. Безопасная ЛЭП с деревянными опорами в степи Усть-Абаканского района около кластера Хакасского заповедника «Камызякская степь». На каждой опоре и проводе между опорами сидит птица (слева направо: степной орёл, слетевшая с провода пустельга, мохноногий курганник и ворон). Фото Е. Шнайдер.

Fig. 19. Safe power line with wooden poles in the steppe of Ust-Abakan district of Khakassia, running close to the State Nature Reserve "Khakasskiy". Each pole and wire in between got a perching bird (left to right: a Steppe Eagle, a Kestrel just leaving a wire, and Upland Buzzard and a Raven). Photo by E. Shnayder.

кластера Хакасского заповедника «Камызякская степь» (рис. 20). В постгнездовой сезон опоры этой линии столь популярны среди хищных птиц и врановых, что едва ли в хорошую погоду среди них остаются опоры, не занятые крупным или мелким пернатым хищником или вороном. В свете вышесказанного, любая замена деревянной опоры в такой линии на бетонную или установка линейного разъединителя приведёт к нанесению колоссального ущерба населению пернатых хищников. Вместе с тем энергетики республики всё чаще прибегают к таким заменам. Чтобы избежать катастрофы, все подобные замены должны сопровождаться обязательным оснащением новой опоры птицезащитными устройствами.

Выводы:

1. На территории Орджоникидзевского, Ширинского, Усть-Абаканского, Аскизского и Бейского муниципальных районов Республики Хакасия продолжается незаконная эксплуатация и даже строительство новых птицепоопасных ЛЭП 6–10 кВ без птицезащитных устройств.

2. В Республике Хакасия сохраняется высокий уровень гибели птиц на ПО ЛЭП 6–10 кВ – в среднем 8,21 ос./км линий за гнездовой сезон (от 5,26 до 25,22 ос./км линий за сезон).

3. Наиболее опасными являются «полевые» ЛЭП с бетонными опорами, оснащёнными заземлёнными металлическими траверсами со штыревыми изоляторами, расположенные в открытых местообитаниях вдали от населённых пунктов – на них высокое видовое разнообразие и высокий процент гибнущих пернатых хищников, в том числе занесённых в Красную Книгу РФ. Особенно опасны короткие линии, выдающиеся в окружающий ландшафт, и отрезки линий, идущие по холмистому рельефу.

4. Также высокую степень опасности представляют линии, расположенные в популярных миграционных коридорах. Однако наша проверка не была нацелена на их выявление, поскольку затронула лишь начало осенней миграции.

5. В сентябре на ЛЭП гибнет примерно в 2,1 раза больше птиц, чем в августе.

6. Среди гибнущих на ЛЭП птиц доминируют врановые (66%), доля хищных птиц составляет 28%, среди которых в первую очередь гибнут обычные виды, такие как пустельга – 17,7% от общего числа погибших птиц, и коршун – 6,5%, что характерно в целом для лесостепной зоны России.

7. Ущерб от гибели птиц на осмотренных 111,5 км ПО ЛЭП составил 18,1 млн. руб.

8. Общий уровень гибели птиц на ПО ЛЭП Хакасии превышает 3252 ос. в год, а общий ущерб – 64 171 440. руб. в год.

9. Средний ущерб на одну опору по результатам фактических проверок составил 10 485,6 руб., что как минимум в 10 раз выше, чем стоимость комплекта ПЗУ на одну опору.

10. Необходимо срочно переоснащать ЛЭП и делать их безопасными для птиц, начиная с «полевых» ЛЭП в холмистой местности вдали от населённых пунктов, особенно ЛЭП, протянувшихся близ существующих и проектируемых федеральных и региональных ООПТ, так как эти линии уничтожают редких птиц, обитающих на этих ООПТ, тем самым полностью нивелируя усилия по их сохранению.

Предложения по минимизации ущерба

Информация о птицепоопасных ЛЭП была передана в Хакасэнерго для поэтапной реализации птицезащитных мероприятий.

В первую очередь предложено оснастить ПЗУ бетонные опоры «сотовых» и «полевых» ЛЭП, наиболее опасных для птиц, а

также все линейные разъединители в выявленных ЛЭП с деревянными и бетонными опорами. Для оснащения использовать ПЗУ в виде пластиковых кожухов, закрывающих изолятор и прилегающую часть токонесущего провода, от отечественных производителей (Эко-НИОКР, ИТС, Авис), зарекомендовавших себя за последние годы. Есть надежда, что к весне 2021 г. наиболее опасные ЛЭП, расположенные вблизи ООПТ, будут оснащены ПЗУ, что существенно снизит уровень гибели птиц.

Во вторую очередь (в течение лета 2021 г.) предложено оснастить ПЗУ выявленные «придорожные линии», провести инвентаризацию птицепасных ЛЭП, не попавших в учёт, а также опор с линейными разъединителями в условно безопасных ЛЭП с деревянными опорами, которые оснастить ПЗУ в течение 2022 г.

Необходимо на уровне Хакасэнерго ввести запрет на установку во всех открытых местообитаниях Хакасии бетонных опор с неизолированным проводом, который будет касаться реконструкции ЛЭП с деревянными опорами и обеспечит замену деревянных бестраверсных опор только на аналогичные конструкции до плановой реконструкции этих ЛЭП.

Плановую реконструкцию ЛЭП в открытых местообитаниях Хакасии необходимо проводить с учётом их безопасности для птиц, и приоритетными конструкциями для этого необходимо считать подземный кабель (приоритет № 1), деревянные бестраверсные опоры (приоритет № 2) или самонесущий изолированный провод (СИП) без использования защиты от грозовых перенапряжений в виде разрядников с искровым промежутком (РИП) (см. Виноградов, 2009), либо с использованием длинно-искровых разрядников (РДИ) без искрового промежутка (приоритет № 3). Последнее уточнение относительно разрядников является обязательным, так как гибель птиц на ЛЭП, оснащённых СИП с РИП, доказана для Казахстана (Пестов и др., 2020) и России, в том числе и для Хакасии (линия к юго-западу от пос. Краснозерное Усть-Абаканского р-на между ж/д и трассой А161, не вошедшая в материалы данной статьи).

Подтверждения

Работа выполнена в рамках программы «Птицы и ЛЭП» Российской сети изучения и охраны пернатых хищников по контракту № 2020.080.К от 11 июня 2020 г. между ООО «Сибирский экологический центр» и

ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный университет» «Обследование гнездовых группировок степного орла, орла-могильника, балобана, сапсана, кречета на территории Республики Хакасия, за исключением ООПТ федерального значения» по заказу Минприроды Хакасии. Поддержка полевых исследований оказана Алтае-Саянским отделением WWF России, фондом «Мир вокруг тебя» корпорации «Сибирское здоровье», фондом охраны видов Мохаммеда бен Заида (проект 202523960) и Хакасским заповедником.

Благодарности

Авторы благодарят волонтеров Центра реабилитации диких животных г. Новосибирска Снежану Парадникову и Максима Засуевича и сотрудников дирекции ООПТ Хакасии Надежду Дзингель, Романа Торина, Александра Эрбес, Юрия Курочку за участие в полевых исследованиях. Особая благодарность инспекторам Минприроды Хакасии Александру Шифману и Дмитрию Бугаеву, благодаря оперативности которых удавалось быстро активировать факты гибели видов, занесённых в Красную книгу РФ.

Литература / References

Байков К.С., Куприянов А.Н., Малков Н.П., Манаков Ю.А., Савченко А.П., Шереметов Р.Т. Биологическое разнообразие Алтае-Саянского экорегиона / Ред. А.Н. Куприянов. Кемерово, 2003. 156 с. [Baykov K.S., Kupriyanov A.N., Malkov N.P., Manakov Yu.A., Savchenko A.P., Sheremetov R.T. Biological Diversity of the Altai-Sayan Ecoregion / A.N. Kupriyanov (Ed.). Kemerovo, 2003: 1–156. (in Russian).]

Барбазюк Е.В., Бакка С.В., Барашкова А.Н., Семёнов А.Р., Смелянский И.Э. Итоги предварительного мониторинга гибели пернатых хищников и других видов птиц от поражения током на линиях электропередачи в Восточном Оренбуржье, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2010. № 20. С. 40–47. [Barbazyuk E.V., Bakka S.V., Barashkova A.N., Semenov A.R., Smelyanskiy I.E. The Outcomes of Preliminary Monitoring for Death of Raptors and Other Bird Species Through Electrocution in the Eastern Orenburg District, Russia. – Raptors Conservation. 2010. 20. 40–47.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/19201> Дата обращения: 20.12.2020.

Барбазюк Е.В., Петришев В.П. Оценка гибели птиц на линиях электропередач 6–10 кВ в Оренбургской области летом 2011 года. – Вестник ОГУ. 2011. № 12. С. 31–33. [Barbazyuk E.V., Petrishev V.P. Estimation of bird deaths on power lines 6–10 kV in the Orenburg region in summer 2011. – Bulletin of the Orenburg State University. 2011. 12: 31–33. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2014/12/9.pdf> Дата обращения: 20.12.2020.

Белик В.П., Гугуева Е.В., Милобог Ю.В., Ветров В.В., Пименов В.Н. Степной орёл (Ас-

cipitridae, Aves) в Волгоградском Заволжье. – Поволжский экологический журнал. 2015. № 4. С. 363–380. [Belik V.P., Gugueva E.V., Milobog Yu.V., Vetrov V.V., Pimenov V.N. Steppe Eagle (Accipitridae, Aves) in the Volgograd Trans-Volga Region. – Povolzhskiy Journal of Ecology. 2015. 4: 363–380. (in Russian).] URL: http://www.sevin.ru/volecomag/issues/2015_4/PEJ_2015_4_363-380.pdf Дата обращения: 20.12.2020.

Брагин Е.А., Катинер Т., Брагин А.Е. Летние скопления крупных пернатых хищников и проблема оценки их численности. – Труды Мензбирова орнитологического общества. Том 1: Материалы XIII Международной орнитологической конференции Северной Евразии / Ред. В.П. Белик, Г.С. Джамирозев. Махачкала, 2011. С. 234–240. [Bragin E.A., Katzner T., Bragin A.E. The summer concentrations of large birds of prey and problem of their number estimation. – Archives of the Menzbir Ornithological Society. Vol. 1: Collected papers of the XIII International Ornithological Conference of the Northern Eurasia. Makhachkala, Russia, 2011: 234–240. (in Russian).] URL: <https://zoomet.ru/konferencii/Trudy-MOO-T1-2011.pdf> Дата обращения: 20.12.2020.

Виноградов А.В. Защита ВЛ, выполненных СИП, от грозных перенапряжений. – КАБЕЛЬ-news, апрель 2009. № 4. С. 31–34. [Vinogradov A.V. Protection of overhead lines, made by self-supporting insulated wire, from lightning overvoltage. – CABLE-news, April 2009. 4: 31–34. (in Russian).] URL: <http://eepir.ru/images/flippingbook/kabel/2009/04-2009.pdf> Дата обращения: 20.12.2020.

Воронова В.В., Пуликова Г.И., Ким К.К., Андреева Е.В., Беккер В.Р., Айтбаев Т. Влияние различных типов линий электропередачи на гибель птиц в Центральном Казахстане. – Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 52–60. [Vorono V.V., Pulikova G.I., Kim K.K., Andreeva E.V., Bekker V.R., Aitbaev T. The Impact of Power Lines on Bird Mortality in Central Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2012. 24: 52–60.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/12306> Дата обращения: 20.12.2020.

Горошко О.А. Гибель птиц на ЛЭП в Даурской степи (Юго-Восточное Забайкалье), Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2011. № 21. С. 84–99. [Goroshko O.A. Bird Electrocution in the Daurian Steppe (South-Eastern Trans-Baikal Region), Russia. – Raptors Conservation. 2011. 21: 84–99.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/15240> Дата обращения: 20.12.2020.

Инфляция в России. 2020. [Inflation in Russia. 2020.] URL: <https://xn----ctbjnaatncev9av3a8f8b.xn--p1ai> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Зиневич Л.С., Николенко Э.Г. Современное состояние популяции степного орла в Оренбургской области, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2016 а. № 33. С. 90–119. [Karyakin I.V., Zinevich L.S., Nikolenko E.G. Modern Status of the Steppe Eagle Population in the Orenburg Region, Russia. – Raptors Conservation. 2016 a. 33: 90–119.] DOI: 10.19074/1814-8654-2016-33-90-119 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/28162> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Коваленко А.В., Барашкова А.Н., Смелянский И.Э., Николенко Э.Г. Стратегия сохранения степного орла в Российской Федерации. Москва, 2016 б. 46 с. [Karyakin I.V., Kovalenko A.V., Barashkova A.N., Smelansky I.E., Nikolenko E.G. Strategy of the Steppe Eagle conservation in the Russian Federation. Moscow, 2016 b: 1–43. URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/29623>] Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Барашкова А.Н., Шнайдер Е.П. Отчёт о выполнении государственного контракта № 2015.233657 от 30.06.2015 г. проведение НИР по теме «Сбор, обработка, анализ данных о численности, условиях обитания и распространения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов хищных птиц на территории Республики Хакасия, за исключением ООПТ федерального значения». Новосибирск, 2015. 111 с. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Barashkova A.N., Shnayder E.P. Report on the implementation of the state contract No. 2015.233657 of 30/06/2015 conducting research on the topic "Collection, processing, analysis of data on the population number, habitat and distribution

of rare and endangered species of raptors in the territory of the Republic of Khakassia, with the exception of protected areas of federal status". Novosibirsk, 2015: 1–111. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/archives/27284> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Важов С.В., Бекмансуров Р.Х. Гибель пернатых хищников на ЛЭП на Алтае: результаты исследований 2009 года, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2009. № 16. С. 45–64. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Vazhov S.V., Bekmansurov R.H. Raptor Electrocution in the Altai Region: Results of Surveys in 2009, Russia. – Raptors Conservation. 2009. 16: 45–64.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/19496> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Мацына А.А., Штоль Д.А., Дзюбчук А.В. Оценка объема гибели птиц на воздушных линиях электропередачи мощностью 6–10 кВ в Красноярском крае. Отчёт о выполнении государственного контракта № 6/13 от 02.07.2013 г. Новосибирск, 2013. 47 с. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Matsyna A.A., Shtol D.A., Dzubchuk A.V. An assessment of the mortality of birds on overhead power lines 6–10 kV in the Krasnoyarsk Kray. Report on the implementation of state contract 6/13 (02/07/2013). Novosibirsk, 2013: 1–47. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/23088> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П. Балобан в Алтае-Саянском регионе: результаты мониторинга в 2016–2018 годах. – Пернатые хищники и их охрана. 2018 а. № 37. С. 95–165. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P. Saker Falcon in the Altai-Sayan Region: Results of Monitoring in 2016–2018. – Raptors Conservation. 2018 a. 37: 95–165.] DOI: 10.19074/1814-8654-2018-37-95-165 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31229> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Проммер М. Результаты GPS/GSM-трекинга ювенильных балобанов в Алтае-Саянском регионе. – Пернатые хищники и их охрана. 2018 б. № 37. С. 166–229. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Prommer M. Results of the GPS/GSM-tracking of Juvenile Saker Falcons in the Altai-Sayan Region. – Raptors Conservation. 2018 b. 37: 166–229.] DOI: 10.19074/1814-8654-2018-37-166-229 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31240> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П. Результаты учётов степного орла в Республиках Тыва, Хакасия и Красноярском крае в 2018 году, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2019 а. № 38. С. 68–82. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P. Results of account of the Steppe Eagle in the Republics of Tyva, Khakassia and the Krasnoyarsk Kray in 2018, Russia. – Raptors Conservation. 2019 a. 38: 68–82.] DOI: 10.19074/1814-8654-2019-38-68-82 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31994> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Зиневич Л.С., Пуликова Г.И., Бартошук К., Хорват М., Юхаш Т., Агабабян К., Андреев Н.Г. Результаты GPS/GSM-трекинга ювенильных степных орлов из России и Казахстана. – Пернатые хищники и их охрана. 2019 б. № 39. С. 71–227. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Zinevich L.S., Pulikova G.I., Bartoschuk K., Horvath M., Juhász T., Aghababayan K., Andreenkova N.G. Results of the GPS/GSM-Tracking of Juvenile Steppe Eagles from Russia and Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2019 b. 39: 71–227.] DOI: 10.19074/1814-8654-2019-39-71-227 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33119> Дата обращения: 20.12.2020.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Хорват М., Проммер М., Юхаш Т., Паженков А.С., Зиневич Л.С. Направление, характер и сроки миграции орлов-могильников из Волго-уральского региона и Русского Алтая (Россия) по данным GSM/GPS и Argos/GPS-телеметрии. – Пернатые хищники и их охрана. 2018 с. Спецвып. 1. С. 140–143. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Horváth M., Prommer M., Juhász T., Pazhenkov A.S., Zinevich L.S. Direction, Nature and Timing of Migration of the Imperial Eagles from the Volga-Ural Region and Russian Altai (Russia) on Data of the GSM/GPS and Argos/GPS-telemetry. – Raptors Conservation. 2018 c. Suppl. 1:

140–143.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32636> Дата обращения: 20.12.2020.

Ковач А., Уиллиамс Н.П., Гэлбрейт К.А. Международный План Действий по балобану *Falco cherrug* (SakerGAP), включая систему менеджмента и мониторинга для сохранения вида. МоВ по Хищным Птицам Технический Документ Номер 2. КМВ Техническая Серия Номер 31. Координационный Центр – КМВ Хищные Птицы МоВ, Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты, 2014. 160 с. [Kovacs A., Williams N.P., Galbraith C.A. Saker Falcon *Falco cherrug* Global Action Plan (SakerGAP), including a management and monitoring system, to conserve the species. Raptors MOU Technical Publication No. 2. CMS Technical Series No. 31. Coordinating Unit – CMS Raptors MOU, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2014: 1–206.] URL: https://www.cms.int/raptors/sites/default/files/publication/SakerGAP_e.pdf Дата обращения: 20.12.2020.

Лешинская Н.Г. Анализ показателей надёжности работы ПС «Московская» и ПС «Биджа» Усть-Абаканского РЭС. Бакалаврская работа по специальности 13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника». Абакан, 2020. 59 с. [Leschinskaya N.G. Analysis of indicators of reliability of the SS “Moskovskaya” and SS “Bidzha” of Ust-Abakan RES. The final qualification Bachelor’s work in the specialty 13.03.02. “Power Engineering and Electrical Engineering”. Abakan, 2020: 1–59. (in Russian).] URL: http://elbib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/136772/vkr_leshchinskaya.pdf Дата обращения: 20.12.2020.

Локтев В.Е., Федосюткин Б.А. Определение давности наступления смерти на месте происшествия (пособие для оперативно-розыскных и следственных работников). – М.: УНПЦ ЮрИнфоР. 1992. 32 с. [Loktev V.E., Fedosyutkin B.A. Determination of the prescription of death at the scene (manual for operational-search and investigative workers). – Moscow, 1992: 1–32. (in Russian).] URL: <https://eg1lib.org/book/2468910/012cf2?id=2468910> Дата обращения: 20.12.2020.

Мацына А.И., Замазкин А.Е. Рекомендации по обеспечению безопасности объектов животного мира при эксплуатации воздушных линий связи и электропередачи на территории Нижегородской области. Нижний Новгород, 2010. 60 с. [Matsyna A., Zamazkin A. Recommendations on ensuring the safety of wildlife during the operation of overhead power and communication lines in the territory of the Nizhny Novgorod district. Nizhny Novgorod, 2010: 1–60. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/12296> Дата обращения: 20.12.2020.

Методика исчисления размера вреда, причинённого объектам животного мира, занесённым в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания, утверждённая приказом МПР России от 28 апреля 2008 г. № 107 с изменениями от 12.12.2012 № 429. [The Methodology for Estimating the Level of Damage Caused to Species Listed in the Red Data Book of Russian Federation, as Well as to Non-Game Species and their Habitats (Approved by decree of the Ministry of Natural Resources of Russia from 28/04/2008 No. 107 as amended on 12.12.2012 No. 429.) (in Russian).] URL: <https://base.garant.ru/12161284/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33> Дата обращения: 20.12.2020.

Методика исчисления размера вреда, причинённого охотничьим ресурсам, утверждённая приказом МПР России от 8 декабря 2011 г. № 948, с изменениями от 22.07.2013 № 252 и 17.11.2017 № 612. [The Methodology for Estimating the Level of Damage Caused to Game Species (Approved by decree of the Ministry of Natural Resources of Russia from 08/04/2008 No. 107 as amended on 22/07/2013 No. 252 and 17/11/2017 No. 612.) (in Russian).] URL: <http://base.garant.ru/70132926> Дата обращения: 20.12.2020.

Николенко Э.Г. Проблема гибели птиц на ЛЭП в Хакасии: негативный вклад инфраструктуры сотовой связи. – Пернатые хищники и их охрана. 2011. № 22. С. 60–71. [Niko-

lenko E.G. Problem of Raptor Electrocution in the Republic of Khakassia: Negative Impact of Developing the Infrastructure of the Mobile Phone Service – Raptors Conservation. 2011. 22: 60–71.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/12726> Дата обращения: 20.12.2020.

Пестов М.В., Онгарбаев Н.В., Смелянский И.Э., Денисов Д.А. Факты гибели хищных птиц на воздушных линиях электропередачи, выполненных самонесущим изолированным проводом, в Западном Казахстане. – Пернатые хищники и их охрана. 2020. № 40. С. 52–62. [Pestov M.V., Ongarbayev N.Kh., Smelansky I.E., Denisov D.A. Deaths of Birds of Prey on Overhead Power Lines Made of Aerial Bundled Cables in Western Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2020. 40: 52–62.] DOI: 10.19074/1814-8654-2020-40-52-62 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33714> Дата обращения: 20.12.2020.

Попов В.В. Внегнездовые скопления черноухого коршуна на юге Сибири и в Монголии. – Пернатые хищники и их охрана. 2007. № 10. С. 57–59. [Popov V.V. None-Breeding Concentrations of the Black-Eared Kite in the South of Siberia and in Mongolia. – Raptors Conservation. 2007. 10: 57–59.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/25070> Дата обращения: 20.12.2020.

Савченко А.П., Емельянов В.И., Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П. Отчёт по научно-исследовательской работе по реализации работ по мероприятию «Обследование гнездовых группировок степного орла, орла-могильника, балобана, сапсана, кречета на территории Республики Хакасия, за исключением ООПТ федерального значения» контракт № 2020.080.К от 11 июня 2020 г. Красноярск, 2020. 34 с. [Savchenko A.P., Emelyanov V.I., Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Schnayder E.P. Report on research work on the implementation of work on the event “Survey of nesting groups of the Steppe Eagle, Imperial Eagle, Saker Falcon, Peregrine Falcon, Gyrfalcon on the territory of the Republic of Khakassia, except for protected areas of federal significance” contract No. 2020.080.K dated June 11, 2020 Krasnoyarsk, 2020: 1–34. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33787> Дата обращения: 20.12.2020.

Салтыков А.В. Основы орнитологической безопасности электросетевой среды. – Бранта: Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. 2014. Вып. 17. С. 153–160. [Saltykov A.V. Fundamentals of ornithological safety in the power grid environment. – Branta. 2014. 117: 153–160. (in Russian).] URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/105360/11-SaltykovNEW.pdf> Дата обращения: 20.12.2020.

Demerdzhiev D.A. Factors influencing bird mortality caused by power lines within special protected areas and undertaken conservation efforts. – Acta Zoologica Bulgarica. 2014. 66: 411–423. URL: <https://www.researchgate.net/publication/267635701> Дата обращения: 20.12.2020.

Demeter I., Horvath M., Gorogh Z., Toth P., Bagyu-
ra J., Solt S., Kovacs A., Dwyer J.F., Harness R.E. Documenting and reducing avian electrocutions in Hungary: A conservation contribution from citizen scientists. – The Wilson Journal of Ornithology. 2018. 130(3): 600–614. DOI: 10.1676/17-031.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/328546978> Дата обращения: 20.12.2020.

Dixon A., Batbayar N., Bold B., Davaasuren B., Erdenechimeg T., Galtbalt B., Tzolmonjav P., Ichinkhorloo S., Gunga A., Purevochir G., Rahman Md.L. Variation in Electrocution Rate and Demographic Composition of Saker Falcons Electrocuted at Power Lines in Mongolia. – Journal of Raptor Research. 2020. 54(2): 136–146. DOI: 10.3356/0892-1016-54.2.136 URL: <https://www.researchgate.net/publication/341493428> Дата обращения: 20.12.2020.

Mammadov A.F., Matsyura A. Bird collisions with power lines in Nakhchivan Autonomous Republic. – Ukrainian Journal of Ecology. 2020. 10(1): 180–185. DOI: 10.15421/2020_29 URL: <https://www.researchgate.net/publication/340509922> Дата обращения: 20.12.2020.