

Wind Power Development in Eastern Kazakhstan Threatens Migration of Eagles

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ УГРОЖАЕТ МИГРИРУЮЩИМ ОРЛАМ

Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P. (*Russian Raptor Research and Conservation Network, Sibecocenter LLC, Novosibirsk, Russia*)

Zinevich L.S. (*All-Russian Research Institute for Environmental Protection, Moscow, Russia*)

Pulikova G.I. (*Biodiversity Research and Conservation Center, Karaganda, Kazakhstan*)

Andreyenkova N.G. (*Institute of Molecular and Cellular Biology SB RAS, Novosibirsk, Russia*)

Bartoszuk K. (*Aquila, LLC, Poznan, Poland*)

Horváth M. (*MME / BirdLife Hungary, Budapest, Hungary*)

Juhász T. (*Hortobagy National Park Directorate, Debrecen, Hungary*)

Prommer M. (*Herman Otto Institute, Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary*)

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П. (*Российская сеть изучения и охраны пернатых хищников, ООО «Сибирский экологический центр», Новосибирск, Россия*)

Зиневич Л.С. (*ФГБУ ВНИИ «Экология» Минприроды РФ, Россия*)

Пуликова Г.И. (*Общественный фонд «Центр изучения и сохранения биоразнообразия», Караганда, Казахстан*)

Андреенкова Н.Г. (*ФГБУН Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, Новосибирск, Россия*)

Бартушук К. (*Компания Aquila, Познань, Польша*)

Хорват М. (*Общество охраны птиц Венгрии, Будапешт, Венгрия*)

Юхаш Т. (*Дирекция НП «Хортобаги», Дебрецен, Венгрия*)

Проммер М. (*Институт Германа Отто, Будапешт, Венгрия*)

Контакт:

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

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

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

Людмила Зиневич
ФГБУ ВНИИ
«Экология»
117628, Россия, Москва
36 км МКАД, 1 – стр. 4
тел.: +7 495 423 84 44
lzinevich@gmail.com

Резюме

На основании данных прослеживания с помощью ARGOS/GPS-трансмиттеров и GPS/GSM-трекеров 34 орлов (4 степных орла (*Aquila nipalensis*) из Центрального Казахстана, 1 степной орёл с Южного Урала и 22 степных орла, 5 орлов-могильников (*Aquila heliaca*) и 2 больших подорлика (*Aquila clanga*) из Алтай-Саянского региона России) определены основные пути, сроки и параметры миграции орлов через Восточный Казахстан, очерчен контур миграционного коридора и определена численность мигрантов, проходящих в нём. Получена информация о важности хр. Каратау для миграции орлов с огромной территорией Казахстана и России. Обсуждается опасность для орлов развития в миграционном коридоре ветроэлектростанций (ВЭС), использующих турбины с горизонтальной осью вращения. Данна оценка возможного негативного влияния на популяции мигрирующих через Каратау орлов Жанатасской ВЭС и потенциальных ВЭС, которые могут быть построены на хр. Каратау. Даны рекомендации по нейтрализации ущерба орлам от развития ВЭС на хр. Каратау.

Ключевые слова: пернатые хищники, хищные птицы, орлы, степной орёл, *Aquila nipalensis*, орёл-могильник, *Aquila heliaca*, большой подорлик, *Aquila clanga*, миграция, GPS/GSM-трекеры, ARGOS/GPS-трансмиттеры, ВЭС, ветрогенератор, Каратау, Казахстан.

Поступила в редакцию: 10.12.2021 г. **Принята к публикации:** 26.12.2021 г.

Abstract

On the basis of data obtained from ARGOS/GPS and GPS/GSM tracking of 34 eagles (4 Steppe Eagles (*Aquila nipalensis*) from Central KZ, 1 Steppe Eagle from Southern Ural region, 22 Steppe Eagles, 5 Eastern Imperial Eagles (*Aquila heliaca*) from the ASR and 2 Greater Spotted Eagles (*Aquila clanga*) from the Altai-Sayan Ecoregion), we have defined the main flyways, terms, and other parameters of migration of eagles through Eastern Kazakhstan. We have outlined the borders of the migration corridor and estimated the number of migrants passing through it. The study highlights the importance of the Karatau Ridge for eagles from the vast territories of Russia and Kazakhstan. But we are also concerned about the development of wind farms with horizontal-axis wind turbines that pose ultimate danger for raptors in the Karatau migration corridor. One of them already exists – the Zhanatas Wind-Power Station. Here we calculated the possible negative impact on the eagle population from existing and projected wind farms of the Karatau ridge and give our recommendations for neutralizing the damage from the development of the electric power industry in Karatau.

Keywords: raptors, birds of prey, eagles, Steppe Eagle, *Aquila nipalensis*, Imperial Eagle, *Aquila heliaca*, Greater Spotted Eagle, *Aquila clanga*, migration, GPS/GSM-trackers, ARGOS/GPS-transmitters, wind farm, wind generator, Karatau, Kazakhstan.

Received: 10/12/2021. **Accepted:** 26/12/2021.

Генриетта Пуликова
genriyetta.pulikova@gmail.com

Наталья Андреенкова
ИМКБ СО РАН
630090, Россия,
Новосибирск,
пр. Акад. Лаврентьева,
8/2
cykuta@ngs.ru

Contact:
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

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

Ludmila Zinevich
All-Russian Research Institute for Environmental Protection
36 km MKAD, 1 – build. 4
Moscow, Russia, 117628
tel.: +7 495 423 84 44
lzinevich@gmail.com

Genriyetta Pulikova
genriyetta.pulikova@gmail.com

Natalya Andreyenkova
Institute of Molecular and Cellular Biology SB RAS
Acad. Lavrentiev Ave., 8/2
Novosibirsk,
Russia, 630090
cykuta@ngs.ru

Kordian Bartoszuk
Aquila
os. Przyjazni 18/172,
61–689 Poznan, Poland
tel.: +48512044750
biuro@aquila-it.pl

Márton Horváth
MME / BirdLife Hungary
H-1121, Budapest Koltó u. 21., Hungary
horvath.marton@mme.hu

Введение

Ширококрылые хищные птицы во время дальних перемещений полагаются на тепловые потоки поднимающегося горячего воздуха, так называемые «термики», позволяющие им парить без лишних затрат энергии (Kerlinger, 1989; Shamoun-Baranes et al., 2003; Bruderer et al., 1994). К таким видам относятся все орлы (Bruderer, Boldt, 2008), использующие во время миграций парение и планирующий полёт более 95% времени (Spaar, 1997). Мигрирующие орлы испытывают большие трудности при пересечении крупных водоёмов, поскольку термики образуются только над сушей, а орлы не могут поддерживать активный полёт на большие расстояния над водой (Panuccio et al., 2021). В связи с этим, Средиземное, Чёрное и Каспийское моря представляют собой серьёзные препятствия для парящих птиц, которые должны пересекать их в самых узких местах либо облетать. Поэтому на Афро-Палеарктическом пролётном пути в силу геоморфологических особенностей Северной Африки и Евразии имеется несколько мест выраженной миграции хищных птиц, так называемых «бутылочных горлышек», приуроченных к проливам – Гибралтар, Тунисский (Сицилийский), Босфор и Суэц, Баб-Эль-Мандеб (Porter, Willis, 1968; Evans, Lathbury, 1973; Bernis, 1980; Bijlsma, 1983; Bruun, 1985; Porter, Beaman, 1985; Finlayson, 1992; Welch, Welch, 1988; 1991; Shirihai et al., 2000; Zalles, Bildstein, 2000; Alon et al., 2004; Agostini et al., 2005; Üner et al., 2010; Megalli, Hilgerloh, 2013; Hilgerloh et al., 2014; Fülop et al., 2014; Onrubia, 2015; Panuccio et al., 2017; 2021; Uysal, Tosunoğlu, 2018; Ünal Altundağ, Karataş, 2020; Jobson et al., 2021).

Концентрации хищных птиц на миграции наблюдаются также между Чёрным и Каспийским морями, где хищники пересекают Кавказ преимущественно близ морских побережий в Турции, Грузии и Азербайджане (Andrews et al., 1977; Verhelst et al., 2011; Heiss, 2013; Hoekstra et al., 2020; Wehrmann et al., 2019; Vansteelant et al., 2020). Но восточнее Каспия в Средней Азии миграция идёт в основном широким фронтом, хотя выраженные концентрации мигрантов всё же имеются на восточном побережье Каспия (Южный Устюрт и Восточный Альборз) (Ullman, Ullman, 2010; Panuccio et al., 2018; Authors' data), и в западных предгорьях Тянь-Шаня и Памиро-Алая (Гаврилов, Гисцов, 1985; Гаврилов, 1996/1997; Sklyarenko et al., 2002; Гаври-

Introduction

During long-distance flights, wide-winged birds of prey use vertical drafts (rising currents of warm air, thermals) that let them soar without excess energy expenditure (Kerlinger, 1989; Shamoun-Baranes et al., 2003; Bruderer et al., 1994). These species include all eagles (Bruderer, Boldt, 2008) that use soaring flight and gliding during migrations for more than 95% of the time (Skaar, 1997). Migrating eagles face significant difficulties in crossing large bodies of water since thermals are only formed above land, and eagles are not capable of prolonged active flights over water (Panuccio et al., 2021). Thereby, the seas are severe obstacles for soaring birds that need to cross them in the narrowest spots or fly around. Consequently, birds of prey concentrate in a few areas called "migratory bottlenecks" on the Afro-Palaearctic flyway, located at a few Straits: Gibraltar, Sicily, Bosphorus and Suez Canal, Bab-el-Mandeb (Porter, Willis, 1968; Evans, Lathbury, 1973; Bernis, 1980; Bijlsma, 1983; Bruun, 1985; Porter, Beaman, 1985; Finlayson, 1992; Welch, Welch, 1988; 1991; Shirihai et al., 2000; Zalles, Bildstein, 2000; Alon et al., 2004; Agostini et al., 2005; Üner et al., 2010; Megalli, Hilgerloh, 2013; Hilgerloh et al., 2014; Fülop et al., 2014; Onrubia, 2015; Panuccio et al., 2017; 2021; Uysal, Tosunoğlu, 2018; Ünal Altundağ, Karataş, 2020; Jobson et al., 2021).

A high concentration of migrating birds of prey is observed between the Black and Caspian Seas as well where they cross the Caucasus, predominantly near the shorelines of Turkey, Georgia, and Azerbaijan (Andrews et al., 1977; Verhelst et al., 2011; Heiss, 2013; Hoekstra et al., 2020; Wehrmann et al., 2019; Vansteelant et al., 2020). Areas east of the Caspian Sea in Central Asia are mostly known for a broad-front migration, although a prominent concentration of bird migrants are on the east coast of the Caspian Sea (Southern Ustyurt and Eastern Alborz) (Ullman, Ullman, 2010; Panuccio et al., 2018; Authors' data), and the western foothills of Tien Shan and Pamir-Alay (Gavrilov, Gistsov, 1985; Gavrilov, 1996/1997; Sklyarenko et al., 2002; Gavrilov, Gavrilov, 2014; Authors' data), in so-called Western Circum-Himalayan migration corridor (WCHMC) (Prins, Namgail, 2017).

The best known constriction of the WCHMC is Chokpak Pass located in the Western Tien Shan at the joint of the Talas Alatau and Borolday (a spur of Karatau Ridge) (Gavrilov, 2006). The pass is distinguished as IBBA Chokpak Pass KZ077. According to 2001 data, the number of more than 30 species of birds of prey mi-

Tibor Juhász
Hortobagy National Park
Directorate
H-5110 Jászberény
Négyssállás Tanya 116
“Eagle Centre”,
Jászberény, Hungary
juhasztibor@hnp.hu

Matyas Prommer
Herman Otto Institute,
Nonprofit Ltd.
Park utca, 2., 1223
Budapest, Hungary
prommerm@hoi.hu

*Миграция хищных птиц через
Каратай. 11.04.2010.
Фото И. Калякина.*

*Migration of birds of prey through
Karatau. 11/04/2010.
Photo by I. Karyakin.*



лов, Гаврилов, 2014; данные авторов), в так называемом Западном Циркум-Гималайском миграционном коридоре (ЗЦГМК) (Prins, Namgail, 2017). В последнем случае орлы обходят высокие горы, через которые летят масса других хищников семейства ястребиных, несмотря на то, что горы не являются такими же серьёзными препятствиями, как моря (Den Besten, 2004; Prins, Namgail, 2017; Карякин и др., 2019а; Kumar *et al.*, 2020).

Наиболее известным сужением миграционного пути в ЗЦГМК является перевал Чокпак, расположенный в Западном Тянь-Шане на стыке Таласского Алатау и Боролдая (отрог хр. Каратая). Максимальная высота хр. Джабаглытау (Таласский Алатау) достигает 2700–2900 м, а хр. Бородай – 1500–1700 м. В результате перевал является наиболее узким местом между Таласским Алатау и Каратая, расстояние между склонами которых не превышает 9 км (Гаврилов, 2006). Перевал выделен в качестве ключевой орнитологической территории международного значения (IBBA Chokpak Pass KZ077). По учёту 2001 г. численность мигрировавших через перевал хищных птиц 30 видов оценена в чуть более 67 тыс. особей, из которых орлы составили 11015 особей, среди которых абсолютно доминировал степной орёл (*Aquila nipalensis*) (10 тыс.) и отсутствовал большой подорлик (*Aquila clanga*) (Гаврилов, 2006). За 5 дней в первой половине сентября 2003 г. здесь учтено 15,7 тыс. хищных птиц (BirdLife International, 2021). Казалось бы, весь хр. Каратая должен являться ключевым участком ЗЦГМК, однако до последнего времени никаких сведений о миграции хищных птиц через территорию хребта за пределами Чокпака не было опубликовано. На хр. Каратая выделены ещё 2 IBBA – Арыстанды (Arystandy KZ073) и Кеншектай (Kenshектай Mountains KZ070) (Скляренко, 2006; Скля-

grating through the pass was estimated at a little more than 67,000 individuals, of which eagles accounted for 11,015 individuals. The Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) was predominant (10,000 ind.), while the Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*) was absent (Gavrilov, 2006). In the first half of September 2003, 15,700 birds of prey were counted here in 5 days (BirdLife International, 2021). The Karatau Ridge should seemingly be the key part of WCHMC, but until recently no data on birds of prey migrating through the ridge outside of Chokpak was published. At the same time, results of eagle migration studies in recent years done by tracking birds equipped with Argos/GPS transmitters and GSM/GPS trackers show the importance of the whole Karatau as a key area of the WCHMC (Karyakin et al., 2016b; 2018d; 2018e; 2019d; 2019e).

Since the beginning of the XXI century, the number of Wind Power Plants (WPP) around the world is quickly rising. Wind power receives governmental support as an alternative energy source that does not pollute the air, unlike burning fossil fuels (Drewitt, Langston, 2006; Kaldellis, Zafirakis, 2011; Panwar *et al.*, 2011; Konstantinidis, Botsaris, 2016; IRENA, 2019). Greenhouse gas emissions are the main cause of anthropogenic global climate change (Huntley *et al.*, 2006), therefore the transition to renewable energy sources is important to reduce emissions (Houghton *et al.*, 2001, Chow *et al.*, 2003; Saidur *et al.*, 2011). But the unprecedented speed and scale of WPP construction raise many questions about their impact on wildlife (Drewitt, Langston, 2006; Barclay *et al.*, 2007; Kunz *et al.*, 2007; Kuvlesky *et al.*, 2007; Telleria, 2009; Santos *et al.*, 2010; Saidur *et al.*, 2011; Northrup, Wittemyer, 2013). For example, in the USA alone annual bird mortality on wind turbines is estimated at 140–328 thousand individuals (Loss *et al.*, 2013). Additionally, wind turbines kill from

ренко и др., 2008; BirdLife International, 2021), но для Арыстанды хищные птицы вообще не указываются в качестве ключевых видов, а для Кеншектау указываются только гнездящиеся на территории падальщики, в первую очередь белоголовые сипы (*Gyps fulvus*) (Скляренко, Катцнер, 2012; BirdLife International, 2021).

В то же время, результаты изучения миграций орлов последних лет путём прослеживания птиц, помеченных Argos/GPS-трансмиттерами и GSM/GPS-трекерами, показали важность всего Карагатай как ключевого участка ЗЦГМК (Карякин и др., 2016б; 2018д; 2018е; 2019д; 2019е).

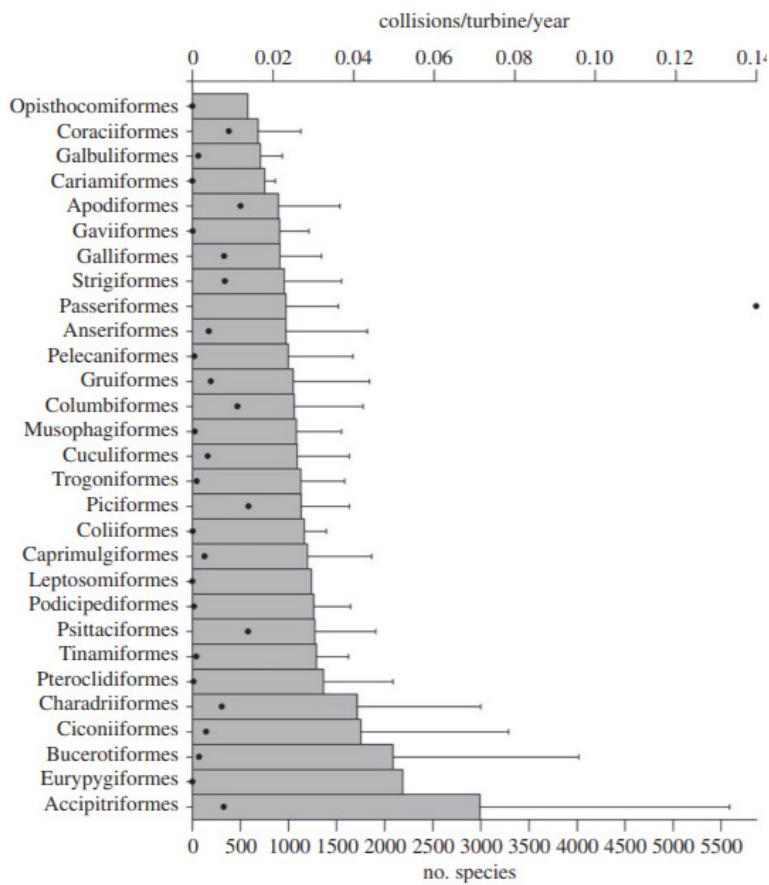
С начала 21 века количество ветроэлектростанций (ВЭС) во всём мире стремительно растёт, и они получают государственную поддержку как альтернативные источники энергии, не загрязняющие воздух, в отличии от технологий, использующих ископаемое топливо (Drewitt, Langston, 2006; Kaldellis, Zafirakis, 2011; Panwar et al., 2011; Konstantinidis, Botsaris, 2016; IRENA, 2019). Выбросы парниковых газов являются основной причиной антропогенного глобального изменения климата (Huntley et al., 2006), поэтому переход на возобновляемые источники энергии играет важную роль в сокращении выбросов (Houghton et al., 2001; Chow et al., 2003; Saidur et al., 2011), но беспрецедентные темпы и масштабы развития ВЭС вызывают всё больше вопросов по их воздействию на дикую природу (Drewitt, Langston, 2006; Barclay et al., 2007; Kunz et al., 2007; Kuvlesky et al., 2007; Telleria, 2009; Santos et al., 2010; Saidur et al., 2011; Northrup, Wittemyer, 2013). Например, только в СССР ежегодная смертность птиц на турбинах ВЭС оценивается в 140–328 тыс. особей (Loss et al., 2013), в дополнение к которым ветротурбины убивают ещё от 500 тыс. до 1,6 млн. летучих мышей (Arnett, Baerwald, 2013; Hayes, 2013).

Исследования последних лет показывают, что хищные птицы особенно чувствительны к негативному воздействию ВЭС (Thelander, Rugge, 2000; Erickson et al., 2002; Howe et al., 2002; Young et al., 2003; Barrios, Rodríguez, 2004; Hoover, Morrison, 2005; Percival, 2005; Stewart et al., 2007; Kikuchi, 2008; de Lucas et al., 2008; Smallwood et al., 2009; Thaxter et al., 2017) и с большей вероятностью сталкиваются с лопастями турбин, чем многие другие виды птиц, из-за особенностей их морфологии и поведения (Orloff, Flannery, 1992; Janss, 2000; Barrios, Rodríguez, 2004; Smallwood, Thelander, 2004; Kikuchi, 2008;

500 thousand to 1.6 million bats (Arnett, Baerwald, 2013; Hayes, 2013) annually.

Birds of prey are especially sensitive to the negative impact of WPPs (Thelander, Rugge, 2000; Erickson et al., 2002; Howe et al., 2002; Young et al., 2003; Barrios, Rodríguez, 2004; Hoover, Morrison, 2005; Percival, 2005; Stewart et al., 2007; Kikuchi, 2008; de Lucas et al., 2008; Smallwood et al., 2009; Thaxter et al., 2017) and are more likely to collide with turbine blades than other bird species due to the peculiarities of their morphology and behavior (Orloff, Flannery, 1992; Janss, 2000; Barrios, Rodríguez, 2004; Smallwood, Thelander, 2004; Kikuchi, 2008; Dahl et al., 2013; Perold et al., 2020). Daytime birds of prey use their binocular narrow high-resolution frontal field of view to detect prey, that is why in the airspace during flight birds cannot always perceive obstacles in front of them, increasing the risk of collisions with various anthropogenic structures (Martin, 2011; Martin et al., 2012). Migrant birds of prey have a higher risk of collisions than other, especially non-migratory species (Desholm, 2009; Steward et al., 2007; Pearce-Higgins, Green, 2014; Beston et al., 2016; Thaxter et al., 2017). WPPs equipped with blade turbines are becoming one of the major factors limiting the number of large birds of prey, causing death in nesting territories and on flyways, negatively affecting their behavior and habitat usage (Orloff, 1992; Meek et al., 1993; Winkelman, 1995; Ogden, 1996; Hunt et al., 1998; Osborn et al., 1998; Erickson et al., 2001; Langston, Pulilan, 2003; Fontán et al., 2003; de Lucas et al., 2004; 2007; 2012a; 2012b; Desholm, 2006; 2009; Drewitt, Langston, 2006; Madders, Whitfield, 2006; Smallwood, Thelander, 2008; Carrete et al., 2009; Farfán et al., 2009; Bellebaum et al., 2012; Martínez-Abrain et al., 2012; Marques et al., 2014; Hunt et al., 2017; Koppel, 2017). The problem of bird of prey mortality on WPPs is aggravated by their relatively low density, and most of them have long lifespans with a low birthrate that makes them especially vulnerable to excess mortality (Kikuchi, 2008; Watson et al., 2018). WPPs that kill birds of prey at the “bottlenecks” of their flyways might influence not only local populations but the whole complex of populations continental scale, as happened to Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in the USA (Katzner et al., 2016).

Unlike in the USA or Europe, WPPs are just developing in Kazakhstan, and the country is at tremendous risk of extirpating all birds of prey, including the Steppe Eagle, a species considered globally endangered (BirdLife In-



Dahl *et al.*, 2013; Perold *et al.*, 2020). Своё бинокулярное узкое фронтальное поле зрения с высоким разрешением дневные хищники используют для обнаружения добычи, поэтому в воздушном пространстве во время полёта птицы не всегда могут воспринимать препятствия перед собой, что увеличивает риск столкновений с различными антропогенными структурами (Martin, 2011; Martin *et al.*, 2012). Хищные птицы-мигранты демонстрируют более высокий риск столкновений, чем другие, особенно не мигрирующие виды (Desholm, 2009; Steward *et al.*, 2007; Pearce-Higgins, Green, 2014; Beston *et al.*, 2016; Thaxter *et al.*, 2017). ВЭС с лопастными турбинами становятся одним из основных факторов, лимитирующих численность крупных пернатых хищников (орлы, падальщики), приводя к гибели в местах гнездования, зимовки и на путях пролёта, негативно влияя на поведение и использование птицами среды обитания (Orloff, 1992; Meek *et al.*, 1993; Winkelman, 1995; Ogden, 1996; Hunt *et al.*, 1998; Osborn *et al.*, 1998; Erickson *et al.*, 2001; Langston, Pullan, 2003; Fontán *et al.*, 2003; de Lucas *et al.*, 2004; 2007; 2012a; 2012b; Desholm, 2006; 2009; Drewitt, Langston, 2006; Madders, Whitfield, 2006; Smallwood, Thelander, 2008; Carrete *et al.*, 2009; Farfán *et al.*, 2009; Bellebaum *et al.*,

Иллюстрация из Thaxter *et al.*, 2017: Прогнозы среднего количества столкновений на турбину (за год $\pm SD$) для отрядов птиц (9568 видов) из апостериорных распределений моделей MCMCglmm, упорядоченных по прогнозам среднего (количество видов в отряде показано чёрными точками).

Illustration from Thaxter *et al.*, 2017: Predictions of mean collisions per turbine (per year $\pm SD$) for bird orders (9568 species) from the posterior distributions of MCMCglmm models, ordered by mean predictions (numbers of species per order are shown by black dots).

ternational, 2020) because migrations there include not only local populations crossing Kazakhstan, but also birds from Russia and Mongolia (see McGrady *et al.*, 2021). It has already begun: Zhanatas Wind-Power Plant ($N 43.479425^\circ E 69.714195^\circ$) was built in northern Karatau southwest from Zhanatas in Sarysu District of Jambyl Region in the very middle of the WCHMC with financial support of the European Bank for Reconstruction and Development, Asian Infrastructure Investment Bank, Industrial and Commercial Bank of China, and Green Climate Fund (Ussov, 2020). Its design capacity is calculated at 100 MW (China Power International Development Limited Co, 2019) (fig. 1).

This article summarizes the results of tracking of three species (Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca*, Steppe Eagle, and Greater Spotted Eagle) and predicts possible damage caused by the development of bladed WPPs on Karatau.

Methods

4 Steppe Eagles marked in Central Kazakhstan in 2018 and 22 Steppe Eagles, 5 Eastern Imperial Eagles, and 2 Greater Spotted Eagles marked in Altai-Sayan region in 2013–2021 were tracked to define migration routes. 1 Steppe Eagle from the Orenburg Region in Russia that migrated to winter in the Indus River basin was added to the analysis as well. Data on 71 fall migrations of 34 eagles and 42 spring migrations of 18 eagles of 3 species (Steppe Eagle: 55 fall migrations of 27 birds and 31 spring migrations of 14 birds; Eastern Imperial Eagle: 10 fall migrations of 5 birds and 6 spring migrations of 3 birds; Greater Spotted Eagle: 6 fall migrations of 2 birds and 5 spring migrations of 1 bird, table 1, fig. 1) was collected.

Mainly GPS/GSM-trackers made by *Aquila* (Poland) with solar panels weighing 33 g were used in the studies. These trackers were

2012; Martinez-Abrain *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2014; Hunt *et al.*, 2017; Koppel, 2017). Проблема гибели хищных птиц на ВЭС усугубляется тем, что эти виды встречаются с относительно низкой плотностью, и большинство из них долгожители с низкой продуктивностью, что делает их особенно уязвимыми к избыточной смертности (Kikuchi, 2008; Watson *et al.*, 2018). ВЭС, уничтожающие хищных птиц в местах их концентрации на пролёте, могут оказывать влияние не только на локальные популяции, но и на целый комплекс популяций в континентальном масштабе, как это показано на примере беркута (*Aquila chrysaetos*) в США (Katzner *et al.*, 2016).

Негативное влияние ВЭС на популяции многих видов живых организмов уже признано мировым природоохранным сообществом, и предлагается не считать энергетику «зелёной», если она не минимизирует риски для биоразнообразия, причём на всех этапах её производства и передачи (Bennun *et al.*, 2021).

В Казахстане, в отличии от США и Европы, ВЭС только развиваются, и страна имеет огромный потенциал для уничтожения хищных птиц, включая степных орлов, находящихся под угрозой исчезновения в глобальном масштабе (BirdLife International, 2020), которые на миграциях через Казахстан имеют не только казахстанское, но и российское и даже монгольское происхождение (см. McGrady *et al.*, 2021). Задел в этом направлении уже

установлен, и в дальнейшем предстоит решить проблему с участием научных организаций, в том числе и зарубежных, в сотрудничестве с казахстанскими коллегами. Для этого в 2014–2021 гг. в Казахстане проводились работы по установке и тестированию различных типов трекеров на хищных птицах, в том числе и на степных орлах. Для этого были выбраны три места установки трекеров: 1) Жанатасская ВЭС (2) на хребте Карагатай (3) в Казахстане; 2) в степях Алтайского края в России; 3) в степях Тывы в России.

The sex of the chicks was determined by the size of introns in the CHD1 gene of sex chromosomes (Fridolfsson, Ellegren, 1999) according to samples of chick feather pulp stored in alcohol (Zinevich *et al.*, 2018).

Chicks were tagged at the age of 60–65 days. Trackers were put on eagles' backs as backpacks (Kenward, 2001; Kenward *et al.*, 2001; Karyakin, 2004) using a harness sewn from Teflon tape 6 and 9 mm wide. The mass of equipment (with harness) was less than 3% of the chicks' body mass, which is less than the recommended optimal value for telemetry studies of birds (Caccamise, Hedin, 1985; Kenward, 2001).

Location density varied from 4 to 13 in daylight hours from 0:00–03:00 to 12:00–19:00 GMT (from 06:00 to 00:00 UTC) (Karyakin *et al.*, 2019e). *Aquila* trackers were programmed to send 1 location per hour, *Sula-L* – to send 1 location per 2–3 hours, Microwave Telemetry, Inc. transmitters – to send 1 location per 30 min – 3 hours depending on model and season.

Data was processed using MS Excel 2003 and Statistica 10. Data range and mean \pm SD are given for samples. The Wilcoxon signed-rank test (*T*) was used to compare the samples.

Telemetry results were processed in ArcView GIS 3.3 (1999) with the Animal Movement SA v. 2.04 module (Hooge, Eichenlaub, 1997; Hooge *et al.*, 2001). All measurements, except for azimuth, were taken in Albers conic

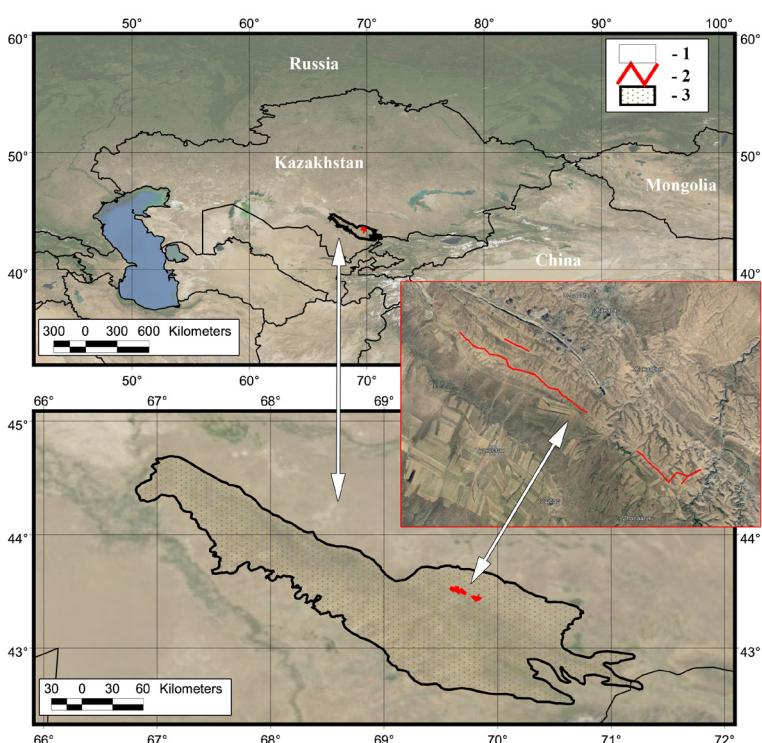


Рис. 1. Хребет Карагатай (3) и Жанатасская ВЭС (2) на карте Казахстана (1 – границы стран).

Fig. 1. Karatau Ridge (3) and Zhanatas WPP (2) in Kazakhstan (1 – state borders).

создан – на северных складках Карагатай, к юго-западу от Жанатаса в Сарыусукском районе Жамбылской области, на средства Европейского банка реконструкции и развития, Азиатского банка инфраструктурных инвестиций, Промышленно-коммерческого банка Китая и Зелёного климатического фонда, прямо в центре ЗЦГМК построена Жанатасская ВЭС ($N = 43.479425^\circ$ E 69.714195°) (Usov, 2020), проектная мощность которой рассчитана на 100 МВт (China Power International Development Limited Co, 2019) (рис. 1).

В данной статье приводятся результаты прослеживания орлов 3-х видов (орла-могильника *Aquila heliaca*, степного орла и большого подорлика) и прогнозируется возможный ущерб от развития лопастных ВЭС на Карагатай для этих видов.

Методика

Для определения путей миграции были прослежены 4 степных орла, помеченных в Центральном Казахстане в 2018 г., и 22 степных орла, 5 орлов-могильников и 2 больших подорлика, помеченных в Алтае-Саянском регионе России в 2013–2021 гг. Также в анализ добавлен 1 степной орёл из Оренбургской области России, мигрировавший на зимовку в бассейн Инда. Получены данные о 71 осенней миграции 34 орлов и 42 весенних миграциях 18 орлов 3-х видов (степной орёл: 55 осенних миграций 27 птиц и 31 весенняя миграция 14 птиц; орёл-могильник: 10 осенних миграций 5 птиц и 6 весенних миграций 3 птицы; большой подорлик: 6 осенних миграций 2 птицы и 5 весенних миграций 1 птицы, табл. 1, рис. 2).

В исследованиях использованы преимущественно GPS/GSM-трекеры (даталогеры) с солнечными панелями компании Aquila (Польша) массой 33 г. Эти трекеры были оснащены СИМ-картами российского оператора сотовой связи «Мегафон», передача данных осуществляется на приёмную станцию в Новосибирске, обслуживаемую ООО «Сибэкоцентр» в рамках проектов Российской сети изучения и охраны пернатых хищников. Три степных орла (в Республике Алтай в 2014 г., в Оренбургской области в 2016 г. и в Республике Тыва в 2021 г.) были помечены трекерами Sula-L компании ECOTONE (Польша) массой 29 г. и один степной орёл из Республики Алтай был помечен в 2021 г. трекером GPS-collars (Норвегия), массой 36 г (модель GPS/GSM/UHF PD F LiteTraX 36). Два орла-могильника и 1 большой подорлик помечены Argos/GPS-трансмиттерами Microwave Telemetry, Inc.

cal projection (Albers Equal-Area Conic) for the center of the Northern Eurasia with the following parameters: Spheroid Krasovsky, Central Meridian – 60, Reference Latitude – 0, Standard Parallel 1 – 52, Standard Parallel 2 – 64, False Easting – 8500000, False Northing – 0.

Spatial characteristics of locations were defined by the Digital Elevation Model (DEM), topographic raster and vector maps, multi-temporal satellite imagery coverage acquired by Lansat, Aster, and Spot (Karyakin et al., 2009a) using the ArcView Spatial Analyst module (1999). Data used to construct the DEM was obtained from NASA SRTM v. 3.0 Global 1 (NASA JPL, 2013). ArcView Nearest Features v. 3.8b and Distance and Azimuth Matrix, v. 2.1 (Jenness, 2004; 2005) were used to determine the distances between the nearest locations and the azimuth.

Both general (for the entire migration) and local (for certain spots on the migration route) azimuths were determined. General azimuth was defined as the direction from the migration's starting point towards its ending point. Local azimuth was calculated using track segments between the start and end locations (nodal points of the track).

Wind speed and direction were determined using Global Forecast System from the website earth.nullschool.net (Beccario, 2021) to analyze eagles' movements relative to wind.

Density analysis was conducted with the Kernel method (Worton, 1989) to instrumentally define the borders of the WCHMC where no less than 50% of eagles fly. The following parameters were selected: cell size 10×10 km, $R=100$ km. To eliminate excess density at overnight and prolonged stopping locations, tracks were not divided by location points but evenly distributed every kilometer. However, birds' movements were not filtered.

Additionally, for each species, the main flyways were determined separately for fall and spring migrations. For this, buffer zones with a radius of 30 km were built around the tracks. Tracks were supplemented with lines connecting visual registration points of migrated birds from the RRRCN^{46, 47} databases (46 points in total). Buffer zones were built around them as well. All buffers were eventually joined and ranked by the track density of zones corresponding to 100, 80, and 60% of the tracks.

Grid mapping in a network of 490 hexagons with a side of 5 km ($D=10$ km) was carried out to visualize data on the density and the number of eagles' tracks in different parts of Karatau.

Табл. 1. Прослеженные миграции орлов. Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), ASER – Алтай-Саянский регион, CK – Центральный Казахстан, SU – Южный Урал.

Table 1. Eagle migration tracking. Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), ASER – Altai-Sayan region, CK – Central Kazakhstan, SU – Southern Ural.

№	Вид Species	Регион Region	Имя Name	Осенняя миграция (число) Autumn migration (numbers)			Весенняя миграция (число) Spring migration (numbers)		
				Всего Total	Через Каратай Via Karatau	Вне Каратай Outside Karatau	Всего Total	Через Каратай Via Karatau	Вне Каратай Outside Karatau
1	AN	ASER	Ураган / Uragan	4	4	0	3	1	2
2	AN	ASER	Тувин / Tuvin	1	1	0	0	0	0
3	AN	ASER	Тэс / Tes	2	2	0	2	2	0
4	AN	ASER	Син / Sin	4	3	1	3	1	2
5	AN	ASER	Мин / Min	4	4	0	3	2	1
6	AN	ASER	Хакас / Khakas	4	4	0	3	2	1
7	AN	ASER	Шойгу / Shoygu	1	1	0	0	0	0
8	AN	ASER	Хаддад / Khaddad	1	1	0	1	1	0
9	AN	ASER	Ита / Ita	1	1	0	0	0	0
10	AN	ASER	Аскиз / Askiz	2	2	0	1	1	0
11	AN	ASER	Жанна / Jeanne	3	3	0	2	2	0
12	AN	ASER	Рея / Reya	1	1	0	0	0	0
13	AN	ASER	Крон / Kron	1	1	0	0	0	0
14	AN	ASER	Хан / Khan	1	1	0	0	0	0
15	AN	ASER	Шаманка / Shamanka	1	0	1	0	0	0
16	AN	ASER	Шира / Shira	1	0	1	0	0	0
17	AN	ASER	Ирма / Irma	1	0	1	0	0	0
18	AN	ASER	Бэла / Bella	1	0	1	1	0	1
19	AN	ASER	Триггер / Triger	1	0	1	0	0	0
20	AN	ASER	Дуся / Dusya	1	0	0	0	0	0
21	AN	ASER	Степаша / Stepasha	1	0	0	0	0	0
22	AN	ASER	Джирик / Dzhirik	1	0	0	0	0	0
Степные орлы из АСЭР / AN from ASER				38	29	6	19	12	7
23	AN	CK	Аман / Aman	4	0	4	3	0	3
24	AN	CK	Айна / Ayna	4	0	4	3	1	2
25	AN	CK	Кенжык / Kenzhyk	3	1	2	2	1	1
26	AN	CK	Сарыгуль / Sarygul	4	0	4	3	2	1
Степные орлы из ЦК / AN from CK				15	1	14	11	4	7
27	AN	SU	Ева / Eva	2	0	2	1	0	1
Степные орлы / Steppe Eagles				55	30	22	31	16	15
28	AH	ASER	Алтай / Altai	1	0	1	0	0	0
29	AH	ASER	Туратай / Turatay	1	1	0	0	0	0
30	AH	ASER	Ануйка / Anuyka	1	1	0	1	1	0
31	AH	ASER	Каночка / Kanochka	2	2	0	1	1	0
32	AH	ASER	Ороша / Oroscha	5	5	0	4	4	0
Орлы-могильники / Imperial Eagles				10	8	2	6	6	0
33	ACL	ASER	Зава / Zawa	1	0	1	0	0	0
34	ACL	ASER	Клангуша / Klangusha	5	4	1	5	4	0
Большие подорлики / Greater Spotted Eagles				6	4	1	5	4	0
ВСЕ ОРЛЫ / TOTAL EAGLES				71	43	25	42	26	15

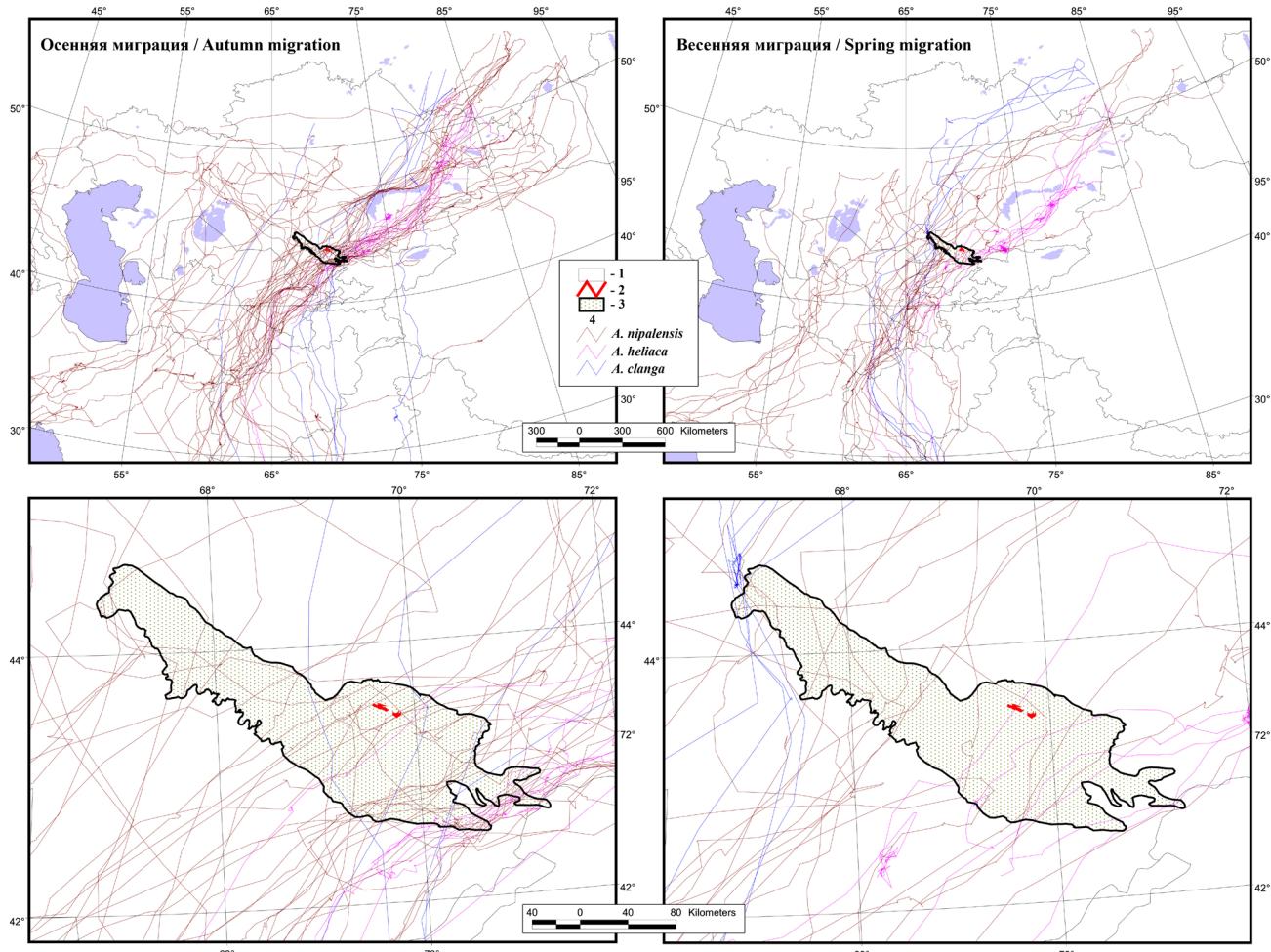


Рис. 2. Треки осенней и весенней миграции 3-х видов орлов из Алтая-Саянского региона, Центрального Казахстана и Южного Урала. На нижнем рисунке показана миграция орлов через Карагату. Условные обозначения: 1 – границы стран, 2 – Жанатасская ВЭС, 3 – хребет Карагату, 4 – треки орлов 3-х видов (степного орла *Aquila nipalensis*, орла-могильника *Aquila heliaca* и большого подорлика *Aquila clanga*).

Fig. 2. The fall and spring migrations tracks of 3 eagle species from Altai-Sayan region, Central Kazakhstan, and Southern Ural. Eagle migration through Karatau is shown in the lower picture. Legend: 1 – state borders, 2 – Zhanatas WPP, 3 – Karatau Ridge, 4 – tracks of 3 species of eagles (Steppe Eagle *Aquila nipalensis*, Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca*, and Greater Spotted Eagle *Aquila clanga*).

Пол птенцов определяли по размеру инtronов гена CHD1 в половых хромосомах (Fridolfsson, Ellegren, 1999) по собранным в спирт образцам пульпы пера птенцов (Зиневич и др., 2018).

Метились птенцы в возрасте 60–65 дней. Трекеры были надеты орлам на спину в виде рюкзачков (Kenward, 2001; Kenward et al., 2001; Карякин, 2004) с использованием упряжи, сшитой из тефлоновой ленты шириной 6 и 9 мм. Их масса в снаряженном состоянии (вместе с упряжью) составляла менее 3% от массы тела птенцов, что меньше значения, рекомендуемого в качестве оптимального для телеметрических исследований птиц (Caccamise, Hedin, 1985; Kenward, 2001).

Частота локаций варьировала от 4 до 13 локаций в световой день с 0:00–3:00 до 12:00–19:00 по Гринвичу (с 06:00 до 00:00 по зональному времени UTC) (Карякин и

Along with our data on the movement of eagles tagged with trackers, other authors' data, ring returns, and repeated observations of birds with marked wings were used to distinguish population groups of eagles associated with the WCHMC (Meyburg et al., 1995; 2016; Strick et al., 2011; Bragin et al., 2012; Karyakin et al., 2015; 2018b; Bekmansurov et al., 2016; 2017; Poessel et al., 2018; Nikolenko et al., 2019). Minimum convex polygon was constructed using tagging points of birds migrating to Eastern Iran, Pakistan, and Western India. All population groups covered by this polygon were distinguished as associated with the WCHMC.

The estimates of the number of breeding pairs in population groups associated with WCHMC, average number of fledglings per pair annually, estimated average number of sub-adult birds according to data published on the Steppe Eagle (Vazhov et al., 2010; 2011;

др., 2019e). Трекеры *Aquila* были запрограммированы на отдачу 1 локации в час, *Sula-L* – 1 локации в 2–3 часа, трансмиттеры Microwave Telemetry, Inc. – 1 локации в 30 мин. – 3 часа, в зависимости от модели и сезона.

Математическую обработку данных осуществляли в MS Excel 2003 и Statistica 10. Для выборок приводятся диапазон данных и среднее значение $\pm SD$. Для сравнения выборок использовался ранговый критерий Вилкоксона (T).

Результаты телеметрии обрабатывались в ArcView GIS 3.3 (1999) с помощью модуля Animal Movement SA v. 2.04 (Hooge, Eichenlaub, 1997; Hooge et al., 2001). Измерения, за исключением азимута, проводились в конической проекции Альберса (Albers Equal-Area Conic) для центра Северной Евразии со следующими параметрами: Spheroid Krasovsky, Central Meridian – 60, Reference Latitude – 0, Standard Parallel 1 – 52, Standard Parallel 2 – 64, False Easting – 8500000, False Northing – 0.

Пространственные характеристики локаций определялись по цифровой модели рельефа (ЦМР), топографическим растровым и векторным картам, мультивременным покрытиям на основе космоснимков Lansat, Aster и Spot (Карякин и др., 2009a) с использованием модуля ArcView Spatial Analyst (1999). ЦМР подготовлена на основе данных NASA SRTM v. 3.0 Global 1 (NASA JPL, 2013). Для определения дистанций между ближайшими локациями и азимута использовали расширения для ArcView Nearest Features v. 3.8b и Distance and Azimuth Matrix, v.2.1 (Jenness, 2004; 2005).

Азимут перемещений орлов определялся как генеральный (для всей миграции), так и локальный (для определённых участков на миграционном пути). Генеральный азимут определялся как направление от точки старта миграции до точки её завершения. Локальный азимут определялся по сегментам трека между начальной и конечной локациями (узловыми точками трека).

Для анализа перемещения орлов относительно ветра определялись скорость и направление ветра для точек локаций по данным GFS (Global Forecast System) с сайта earth.nullschool.net (Beccario, 2021).

Для инструментального определения границ ЗЦГМК, в которых летит не менее 50% орлов, был осуществлён анализ плотности треков всех птиц методом Kernel (Worton, 1989). Выбраны следующие параметры: размер ячейки 10×10 км, R=100 км. Для того, чтобы избавиться от избыточной

2015; Karyakin et al., 2013; 2016a; 2017b; 2018a; 2018b; 2019b; 2019f; Barashkova, Smelansky, 2014; Smelansky et al., 2018; Pulkova et al., 2021), Eastern Imperial Eagle (Karyakin et al., 2009; Karyakin, Nikolenko, 2010; Bragin et al., 2012; Zuban, Vilkov, 2013; Gubin, 2018; Karyakin, 2020), and Greater Spotted Eagle (Karyakin et al., 2005a; Karyakin et al., 2005b; Karyakin et al., 2005c; Karyakin, 2006a; 2008a; 2008b; Karyakin, Levin, 2008; Rudovsky, 2010; Nikolenko, Karyakin, 2016; Karyakin, Zabelin, 2018) were summarized to determine the number of fall migrants using data from Web-GIS "Faunistics" (Andreyenkov et al., 2021; Vazhov et al., 2021) and unpublished authors' data.

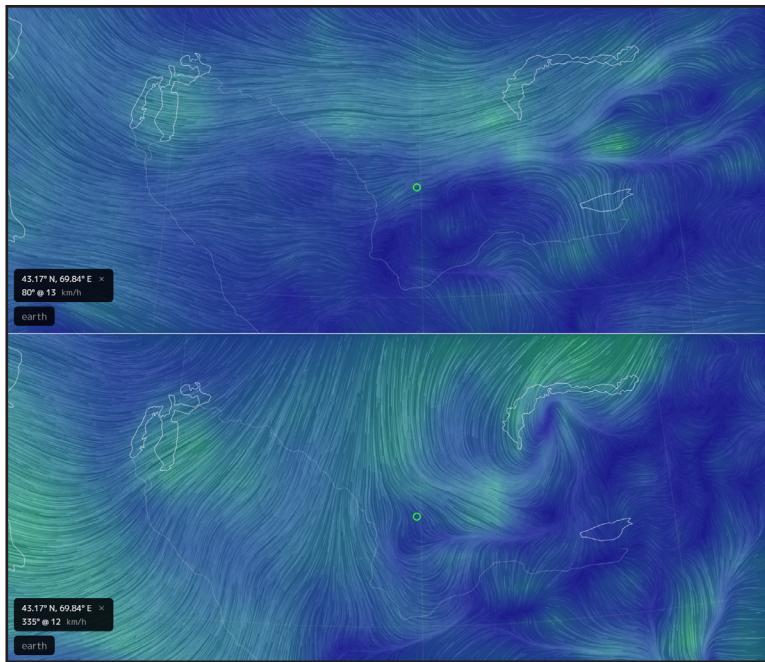
The number of birds passing Karatau in the fall was determined based on the proportion of individuals in population groups associated with the WCHMC that passed directly through Karatau. For this, the polygons corresponding to the population groups of 3 species of eagles were cut off along the borders of the territory from which the migration of birds through Karatau was established. Onward, cropped polygons of population groups of eagles were divided into zones, of which the probability of bird migration through the Karatau was estimated at 80% (zone 1), 50% (zone 2), and 20% (zone 3). The departure of birds and stops for wintering in the area between the natal region and Karatau were subtracted from the estimated number of migrants obtained by this method, and it formed an estimate of the number of birds flying through Karatau in fall.

The number of spring migrants passing Karatau was considered less than the fall one in accordance with the average half-year migration of 3 eagle species, established during



Птенец степного орла (*Aquila nipalensis*) (самка по имени Тес), помеченный в Республике Тыва (Россия) 20.07.2019. Фото И. Карякина.

*Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) nestlings (female named Tes), tagged in the Tyva Republic (Russia) on 20/07/2019. Photo by I. Karyakin.*



Характеристики ветра в точке локации орла-могильника по имени Каночка на осеннеей миграции 2014 г. (вверху) и весеннеей миграции 2015 г. (внизу) с сайта earth.nullschool.net.

Wind characteristics at the locations of the Eastern Imperial Eagle named Kanochka during the fall migration of 2014 (above) and the spring migration of 2015 (below) from the website earth.nullschool.net.

плотности в точках ночёвок и длительных остановок птиц, треки были разбиты не по точкам локаций, а равномерно через каждый километр, но при этом перемещения птиц на остановках не исключались.

Также для каждого вида определялись основные пути пролёта, отдельно для осеннеей и весеннеей миграций. Для этого вокруг треков были построены буферные зоны радиусом 30 км. Треки были дополнены линиями, соединяющими точки визуальных регистраций мигрировавших птиц из базы данных Российской сети изучения и охраны пернатых хищников^{46, 47} (всего 46 точек), вокруг которых также были построены буферные зоны. Все буфера в дальнейшем были слиты и ранжированы по плотности треков прослеженных птиц на зоны, соответствующие 100, 80 и 60% треков.

С целью визуализации данных по плотности и количеству треков орлов в разных частях Карагату осуществлено сеточное картирование в сети из 490 гексагонов со стороной 5 км ($D=10$ км).

Для выделения популяционных группировок орлов, ассоциированных с ЗЦГМК, помимо наших данных прослеживания орлов, помеченных трекерами, использованы сведения других авторов, а также возвраты колец и повторные наблюдения птиц с крылометками (Meyburg *et al.*, 1995; 2016; Strick *et al.*, 2011; Брагин и др., 2012; Калякин и др., 2015; 2018b; Бекмансурев и др., 2016; 2017; Poessel *et al.*, 2018; Ни-

their tracking (Karyakin *et al.*, 2016c; 2018c; 2018d; 2019a; 2019d; 2019e; the new data presented in the article), as well as in accordance with the proportion of birds that remain at wintering sites for the summer or changing their migration routes to fly outside the Karatau (or vice versa, through the Karatau, which compensated for the decrease in the number of spring migrants due to bird mortality during wintering and bypassing Karatau).

The area of Karatau (including Borolday and Small Karatau) calculated along the outer edge of the front folds was 2853 km², the length between the extreme points in the west and east was 415 km, the width of the narrowest western part was 31 km, of the widest eastern part – 118 km.

CRM “Band” (Band, 2000; Band *et al.*, 2007) was used as a model to assess the risk of eagles’ collision with WPPs. It also takes into the account flight altitude of birds (Johnston *et al.*, 2014b), wind direction and speed (Christie, Urquhart, 2015), as well as the probability of eagles’ avoidance of collisions (Madders, Whitfield, 2006; Whitfield, 2009; May *et al.*, 2011; Johnston *et al.*, 2014a). Parameters of the model are discussed in this article.

The risk assessment in CRM “Band” is based on the probability of a bird collision with rotor blades, taking into account the fact that birds pass through the rotor swept zone (RSZ), multiplied by the estimated number of birds flying through the RSZ in a given unit of time (the number of bird collisions annually = the number of birds flying through the RSZ) (Band *et al.*, 2007). The technical part of the calculations is based on the characteristics of the turbines and their morphology (for example, wing shape), speed and flight behavior of birds (flapping or soaring). The empirical part is based on data from bird field observations.

Data on the flight altitude of migrating eagles and their passage through 3 sections of the front folds of the western extremity of Karatau, Small Karatau, and Borolday was collected

⁴⁶ <http://raptors.wildlifemonitoring.ru>

⁴⁷ <http://rrrcn.wildlifemonitoring.ru>

коленко и др., 2019). По точкам мечения птиц, мигрировавших в Восточный Иран, Пакистан и Западную Индию, был построен минимальный конвексный полигон. Все популяционные группировки, захваченные этим полигоном, были выделены в качестве ассоциированных с ЗЦГМК.

Для определения численности осенних мигрантов суммировались оценки численности гнездящихся пар в популяционных группировках, ассоциированных с ЗЦГМК, среднее число слетков на пару в год и предполагаемое среднее число неполовозрелых птиц в соответствии с данными, опубликованными по степному орлу (Важов и др., 2010; 2011; 2015; Карякин и др., 2013; 2016а; 2017б; 2018а; 2018б; 2019б; 2019f; Барашкова, Смелянский, 2014; Смелянский и др., 2018; Пуликова и др., 2021), орлумогильнику (Карякин и др., 2009; Карякин, Николенко, 2010; Брагин и др., 2012; Зубань, Вилков, 2013; Губин, 2018; Карякин, 2020) и большому подорлику (Карякин и др., 2005a; Карякин и др., 2005b; Карякин и др., 2005c; Карякин, 2006a; 2008a; 2008b; Карякин, Левин, 2008; Рудовский, 2010; Николенко, Карякин, 2016; Карякин, Забелин, 2018), с привлечением информации из веб-ГИС «Фаунистика» (Андреенков и др., 2021; Важов и др., 2021) и неопубликованных данных авторов.

Численность птиц, проходящих осенью через Карагатай, определялась исходя из доли особей в популяционных группировках, ассоциированных с ЗЦГМК, которые прошли непосредственно через Карагатай. Для этого полигоны, соответствующие популяционным группировкам орлов 3-х видов, были обрезаны по границам территории, с которой установлена миграция птиц через Карагатай. Далее обрезанные полигоны популяционных группировок орлов были поделены на зоны, из которых вероятность миграции птиц через Карагатай оценивалась как 80% (зона 1), 50% (зона 2) и 20% (зона 3). Из полученной таким методом оценки численности мигрантов вычитался отход птиц и остановка на зимовку на участке между натальной областью и Карагатай и формировалась оценка численности птиц, пролетающих осенью через Карагатай.

Численность весенних мигрантов, проходящих через Карагатай, считали меньше осенней в соответствии с усредненным полугодовым отходом 3-х видов орлов, установленным в ходе их прослеживания (Карякин и др., 2016c; 2018c; 2018d; 2019a; 2019d; 2019e; новые данные, представленные в статье), а также в соответствии

during 2 field trips on April 22–26, 2005 and April 5–21, 2010 (219 measurements in the range of heights from 50 to 400 m), as well as based on bird tracking data (217 locations). During visual registrations, the distances to the birds were determined from photos in the Range Finder program (Khosravi, 2009) or in MS Excel using formulas based on the metric and angular dimensions of the object and the focal length of the camera (Geidarov, 2011; Gromazin et al., 2014). The flight altitude of birds tagged with trackers was calculated by subtracting the altitude at the location point taken from the DEM from the altitude obtained by the bird device. Altitudes below 50 m were discarded.

Information on the technical characteristics of WPP turbines was obtained from the project documents (China Power International Development Limited Co, 2019) and technical documentation (Goldwind GW 121/2500, 2017): 40 turbines of 2.5 MW each from Envision, model EN 121/2.5, tower height – 90 m, blade length – 59.5 m, turbine rotor diameter – 121 m, radius, respectively, – 60.5 m, area, covered by the rotor – 11,595 m², rotation speed no more than 13.5 rpm, design wind speed – 9.3 m/s (operating range 2.8–22.0 m/s), total frontal area of all WPP rotors – 459,961 m².

Calculation details for the model:

1. Zone A of the WPP was defined as the minimum convex polygon (MCP) around the outermost turbines (50.1 km²) + 100-meter buffer and amounted to 54.7 km². The length of the WPP along Karatau was measured along the line of turbine installation and was 26.3 km between the extreme western and northeastern turbines.

2. The period of flight T was calculated by multiplying the number of days for spring and fall migrations of each species by the average day length for each season. Day length was defined as the number of hours between sunrise and sunset for latitude 43.5° according to the model by Forsythe et al., 1995.

3. The number of birds n for each season was estimated within the boundaries of the WPP. This is the number of birds present multiplied by the time spent in flight over the WPP for the analyzed period for which the risk of collision is assessed: $n=F\times A\times T$.

4. The dangerous flight area V_w is calculated as the WPP area multiplied by the rotor diameter (=121 m).

5. The total area covered by the WPP rotors was calculated as $V=N\times\pi R^2\times(d+L)$, where N is the number of wind turbines (=40), R is the rotor length (=60.5 m), d is the rotor depth in both directions (4.21 m), and L is

с долей птиц, остающихся на зимовках на лето и изменяющих пути миграции и летящих за пределами Карагату (или наоборот, через Карагату, что компенсировало снижение численности весенних мигрантов за счёт гибели птиц на зимовках и обхода ими Карагату).

Площадь Карагату (включая Боралдай и Малый Карагату), рассчитанная по внешнему краю передовых складок, составила 2853 км², протяжённость между крайними точками на западе и востоке – 415 км, ширина в самой узкой западной части – 31 км, в самой широкой восточной части – 118 км.

В качестве модели риска столкновения орлов с ВЭС использована CRM «Band» (Band, 2000; Band *et al.*, 2007), дополнительно учитывающая высоту полёта птиц (Johnston *et al.*, 2014b), направление и скорость ветра (Christie, Urquhart, 2015), а также вероятность уклонения орлов от столкновений (Madders, Whittfield, 2006; Whittfield, 2009; May *et al.*, 2011; Johnston *et al.*, 2014a), параметры которой обсуждаются.

Оценка риска в CRM «Band» основана на вероятности столкновения птиц с лопастями ротора с учётом того, что птицы проходят через зону движения ротора (ЗДР), умноженной на предполагаемое количество птиц, пролетающих через ЗДР в течение заданной единицы времени (количество столкновений птиц в год = количество пролетающих через ЗДР) (Band *et al.*, 2007). Техническая часть расчётов основана на характеристиках турбин и морфологии (например, форме крыла), скорости и полётном поведении (машущий полёт или парение) птиц. Эмпирическая часть основана на данных полевых наблюдений за птицами.

Информация о высоте полёта мигрирующих орлов и их прохода через 3 участка передовых складок западной оконечности Карагату, Малого Карагату и Боралдая собрана в ходе двух полевых выездов 22–26 апреля 2005 г. и 5–21 апреля 2010 г. (219 измерений в диапазоне высот от 50 до 400 м), а также по данным прослеживания птиц с трекерами (217 локаций). При визуальных регистрациях дистанции до птиц определялись по фото в программе Range Finder (Khosravi, 2009) или в MS Excel по формулам, основанным на метрических и угловых размерах объекта и фокусном расстоянии камеры (Гейдаров, 2011; Громазин и др., 2014). Высота пролёта птиц, помеченных трекерами, определялась вычитанием показателя высоты над уровнем

the bird body length. The bird body length is determined as the average measurement between males and females for Eastern Imperial Eagle at 0.78 m, for Steppe Eagle at 0.76 m, and for Greater Spotted Eagle at 0.68 m (Karyakin, 2004).

6. Number of birds in the volume covered by the rotor blades is $n \times (V_r/V_w)$ birds per second.

7. Time it takes for the bird to pass through the rotor disc was calculated as $t = (d+L)/v$, where v is the speed in m/s.

8. Number of birds in the volume covered by the rotor blades was divided by the transition time t : $n \times (V_r/V_w)/t$.

9. Collision probability was calculated using the formula presented in the MS Excel table (see above in the methodology) using the following input parameters:

K (3D probability): 1;

rotor diameter: 121 m;

number of rotor blades: 3;

maximum chord: 4.21 m;

step: 15 degrees;

bird body length: 0.68–0.78 m (see item 5);

the wingspan of a bird: defined as the average measurement between males and females for Eastern Imperial Eagle at 2.05 m, for Steppe Eagle at 2.11 m, for Greater Spotted Eagle at 1.70 m (Karyakin, 2004);

flight type: $(2/\pi)F$, with $F=1$ (flap = 0 or soar = 1);

average bird speed: average data from trackers for each species.

MS Excel⁴⁸ tables, available as supplementary materials to the article by Christie, Urquhart, 2015 and on the Natural Research website (Collision Risk Modelling, 2015), as well as MS Excel⁴⁹ tables available on the page “SOSS-02: A review of flight heights and avoidance rates of birds in relation to offshore WPPs”⁵⁰ of the BTO website (Band, 2012) were used for data entry and processing.

Results

Estimation of the number of eagles passing through Karatau

The territory from which Steppe Eagles, Eastern Imperial Eagles, and Greater Spotted Eagles migrate for wintering in the WCHMC stretches from Southern Ural (Russia) and Aral Sea region (Kazakhstan) in the west to Khangai (Mongolia) in the east and from the Chulym basin (Russia) in the north to the lower reaches of the Sarysu, Chu, and upper reaches of the Ili (Trans-Ili Alatau, Ketmen) in the south. This territory comprises all zones of Eurasia from desert to taiga and covers an area of 3.3 million km² (fig. 3).

моря в точке локации, взятого по ЦМР, из показателя высоты над уровнем моря, полученного прибором птицы. Высоты ниже 50 м отбраковывались.

Информация о технических характеристиках турбин ВЭС была получена из документов проекта (China Power International Development Limited Co, 2019) и технической документации (Goldwind GW 121/2500, 2017): 40 турбин по 2,5 МВт от Envision, модель EN 121/2.5, высота башен – 90 м, длина лопастей – 59,5 м, диаметр ротора турбины – 121 м, радиус, соответственно, – 60,5 м, площадь, охватываемая ротором – 11595 м², скорость вращения не более 13,5 об/мин, проектная скорость ветра – 9,3 м/с (рабочий диапазон – 2,8–22,0 м/с), общая фронтальная площадь всех роторов ВЭС – 459961 м².

Детали расчётов для модели:

1. Зона А ВЭС была определена как минимальный конвексный полигон (MCP) вокруг крайних турбин (50,1 км²) + 100-метровый буфер и составила 54,7 км². Протяжённость ВЭС вдоль Карагатай измерена по линии установки турбин и составила 26,3 км между крайними западной и северо-восточной турбинами.

2. Период пролёта T рассчитывался путём умножения количества дней для весенней и осенней миграции каждого вида на среднюю продолжительность дня для каждого сезона. Продолжительность дня была определена как количество часов между восходом и заходом солнца для широты 43,5° согласно модели Forsythe *et al.*, 1995.

3. Численность птиц n для каждого сезона оценивалась в границах ВЭС. Это количество присутствующих птиц, умноженное на время, проведённое в полёте над ВЭС за анализируемый период, для которого делается оценка столкновения: $n = F \times A \times T$.

4. Пространство, опасное для полётов V_w , рассчитано как площадь ВЭС, умноженная на диаметр ротора (=121 м).

5. Общий объём, охватываемый роторами ВЭС, был рассчитан как $V_r = N \times \pi R^2 \times (d + L)$, где N – количество ветряных турбин (=40), R – длина ротора (=60,5 м), d – глубина ротора в обе стороны (4,21 м), а L – длина тела птицы. Длина тела птицы определена как средний показатель между самцами и самками для орла-могильника в 0,78 м, для степного орла – 0,76 м, для большого подорлика – 0,68 м (Карякин, 2004).

6. Количество птиц в объёме, охваченном лопастями ротора, составляет $n \times (V_r / V_w)$ птиц в секунду.



Ветротурбины Жанатасской ВЭС.
Фото из: EcoSocio Analysts LLC, 2019.

Wind turbines of Zhanatas WPP.
Photo from: EcoSocio Analysts LLC, 2019.

Tracking eagles showed that from this vast territory some birds of the birds fly to wintering grounds in the Indus basin, some eagles, mainly from the western part of the outlined contour, fly to the Middle East and North African wintering grounds, and the smaller part goes to Xinjiang, Tibet, and probably in the Ganges basin in India. For Steppe Eagles from the Altai-Sayan region, Eastern Turkmenistan turned out to be an important wintering place. Cold wintering grounds have been established for some Eastern Imperial Eagles and Steppe Eagles, including 2 Steppe Eagles within the nesting area.

Eagles fly along 4 main routes to winter in Turkmenistan, Iran, Pakistan, and India:

1) bypassing Karatau and Pamir-Alai from the west,

2) through Karatau, bypassing Pamir-Alai from the west,

3) through Trans-Ili Alatau, Kyrgyzstan, Kashgaria, Karakorum, and the Himalayas,

4) bypassing Tien Shan from the east along the Tarim Basin or through it and further, through the Karakorum and the Himalayas.

Thus, the passage through Karatau is one of 4 options for the eagles to reach the Indo-Pakistani and East Iranian wintering grounds.

Out of 34 eagles that started the migration, 20 eagles (58.82%) passed through Karatau at least once during the tracking period, and 14 eagles (41.18%) did not cross the Karatau due to their death, stopping for the winter to the north or bypassing Karatau the west (11.76% – 4 eagles: Steppe Eagles Aman, Aina, Sarygul and Eastern Imperial Eagle Altai) or the east (14.71% – 5 eagles: Great-

7. Время, необходимое птице, чтобы пройти через диск ротора, рассчитывалось как $t = (d+L)/v$, где v – скорость в м/с.

8. Количество птиц в объёме, охваченном лопастями ротора, было разделено на время перехода $t: n \times (V/V_w)/t$.

9. Вероятность столкновения рассчитывалась по формуле, представленной в таблице MS Excel (см. выше в методике), используя следующие входные параметры:

K (3D вероятность): 1;

диаметр ротора: 121 м;

количество лопастей ротора: 3;

максимальная хорда: 4,21 м;

шаг: 15 градусов;

длина тела птицы: 0,68–0,78 м (см. п. 5);

размах крыльев птицы: определён как средний показатель между самцами и самками для орла-могильника в 2,05 м, для степного орла – 2,11 м, для большого подорлика – 1,70 м (Карякин, 2004);

тип полёта: $(2/\pi)F$, с $F=1$ (взмахи = 0 или планирование = 1);

средняя скорость птицы: средние данные, полученные от трекеров для каждого вида.

Для ввода и обработки данных использованы таблицы MS Excel⁴⁸, доступные в качестве дополнительных материалов к статье Christie, Urquhart, 2015 и на сайте Natural Research (Collision Risk Modelling, 2015), а также таблицы MS Excel⁴⁹, доступные на странице «SOSS-02: Обзор методов оценки риска столкновения птиц с морскими ветроэлектростанциями»⁵⁰ сайта ВТО (Band, 2012).

Результаты

Оценка численности орлов, пролетающих через Карагатай

Территория, с которой степные орлы, орлы-могильники и большие подорлики мигрируют на зимовки в ЗЦГМК, протянулась от Южного Урала (Россия) и Приаралья (Казахстан) на западе до Хангая (Монголия) на востоке и от бассейна Чулыма (Россия) на севере до низовьев Сарысу, Чу и верхнего течения Или (Залийский Алатау, Кетмень) на юге. Данная территория охватывает все зоны Евразии, от пустынной до таёжной и занимает площадь 3,3 млн. км² (рис. 3).

Прослеживание орлов показало, что с этой огромной территории часть птиц летит на зимовки, сосредоточенные в бассейне Инда, часть орлов, преимущественно из западной части очерченного

er Spotted Eagle Zava, Steppe Eagles Eva, Irma, Shamanka, Trigger) (fig. 4). Without taking into account deaths during migration and wintering of birds in the breeding area, in populations of the Altai-Sayan region 19 eagles (79.17%) out of 24 crossed Karatau, and 5 (20.83%) bypassed it from the west (1 eagle – Eastern Imperial Eagle Altai – 4.17%) or from the east (4 eagles: 1 Greater Spotted Eagle Zava and 3 Steppe Eagles Irma, Trigger, and Shamanka – 16.67%). Thus, we took the indicator of 80% of eagles gravitating towards passage through Karatau as the baseline for population groups in the 450 km zone on both sides of the center line of the migration route of Altai-Sayan birds (zone 1 in fig. 3). From the Central Kazakhstan population group of Steppe Eagles, only 1 bird out of 4 (25%) went through Karatau (see table 1), 2 birds overwintered in the lower reaches of Indus, and 2 birds overwintered in the Middle East and Africa, using the Transcaspian and even Caucasian (Aina) flyways. Therefore, an indicator of 20% of eagles gravitating towards the passage through Karatau was applied for extreme western population groups associated with the WCHMC.

According to estimates of the number of eagles in the population groups associated with the WCHMC, 27.23% of individuals tend to migrate through Karatau (fig. 3, table 2). Moreover, up to 80% of birds from the population groups of East Kazakhstan and the Altai-Sayan region migrate towards Karatau. However, this estimate needs to be adjusted for mortality rates of birds during migration and stops for “cold” wintering in the breeding area.

According to tracking data, the mortality rate during the autumn migration was 14.71% (5 eagles out of 34 that started the 1st autumn migration), and 8.82% of birds died in the breeding area (3 eagles out of 34). Two birds (Bella and Shira) remained in the breeding area during winter, and for one of them (Bella), the wintering was successful – this is 5.88% of 34 tracked eagles. Thus, 14.71% of the tracked eagles did not cross the mountains of Central Asia due to death or winter stops, and 85.29% migrated to the south, overcoming mountain obstacles.

All data on mortality and wintering stops in the nesting area refers to Steppe Eagles since more of them were tagged than Eastern Imperial Eagles and Greater Spotted Eagles, indicating that the assembled data is more

⁴⁸ http://www.natural-research.org/download_file/view/86/346

⁴⁹ http://www.bto.org/sites/default/files/u28/downloads/Projects/Final_Report_SOSS02_Band2Tool.xlsm

⁵⁰ <http://www.bto.org/our-science/wetland-and-marine/soss/projects>

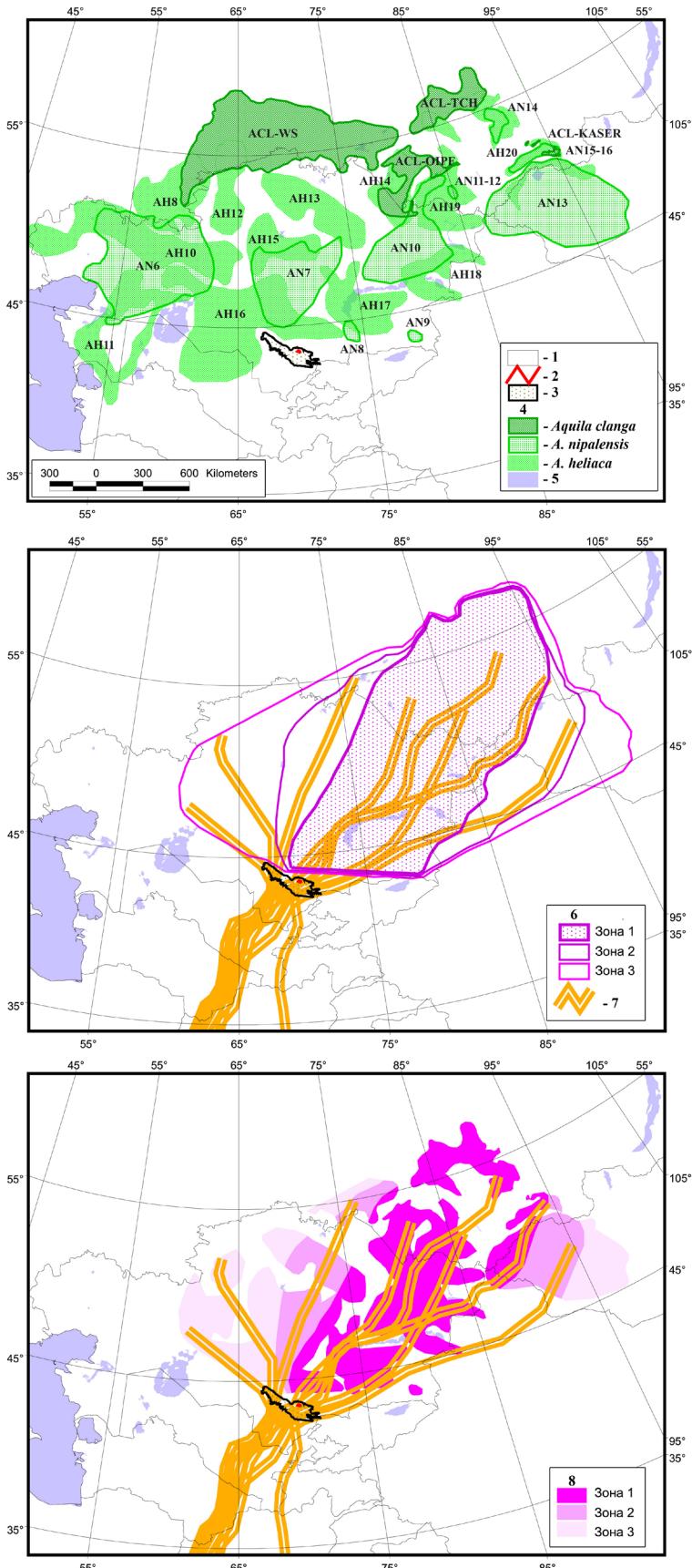


Рис. 3. Популяционные группировки степного орла (*Aquila nipalensis*), орла-могильника (*Aquila heliaca*) и большого подорлика (*Aquila clanga*) в северной Евразии – вверху, основные пути миграции орлов через Каратай и контур территории, с которой орлы мигрируют на зимовки в Западном Циркум-Гималайском миграционном коридоре (ЗЦГМК) – в центре, популяционные группировки орлов, ранжированные по доле птиц, мигрирующих через Каратай – внизу. Условные обозначения: 1 – границы стран, 2 – Жанатасская ВЭС, 3 – хребет Каратай, 4 – популяционные группировки 3-х видов орлов (коды группировок соответствуют таковым в табл. 2), 5 – водоёмы, 6 – территория, населенная популяциями орлов, ассоциированными с ЗЦГМК, разделённая на зоны: зона 1 – 1 696 603 км² – вероятность миграции орлов через Каратай = 80%, зона 2 – 755 148 км² – вероятность миграции орлов через Каратай = 50%, зона 3 – 863 978 км² – вероятность миграции орлов через Каратай = 20%, 7 – основные пути пролёта, 8 – популяционные группировки орлов, ассоциированные с ЗЦГМК, ранжированные по вероятности миграции птиц через Каратай в соответствии с контурами зон 1, 2 и 3 (см. п. 6).

Fig. 3. Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), and Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*) population groups in northern Eurasia – above; the main of eagle migration through Karatau and the outline of the area from where eagles move to overwintering sites in the Western Circum-Himalayan migration corridor (WCHMC) – in the center; eagle population groups ranged by share of birds migrating through Karatau – below. Legend: 1 – state borders, 2 – Zhanatas WPP, 3 – Karatau Ridge, 2 – eagle species population groups (group codes correspond with those in table 2), 5 – water bodies, 6 – area occupied by eagle population groups associated with the WCHMC, divided by zones: zone 1 – 1,696,603 km² – probability of eagle migration through Karatau = 80%, zone 2 – 755,148 km² – probability of eagle migration through Karatau = 50%, zone 3 – 863,978 km² – the probability of eagle migration through Karatau = 20%, 7 – the main flight routes, 8 – eagle population groups associated with the WCHMC ranged by the probability of the migration through the Karatau corresponding with the zone 1, 2 and 3 outlines (see item 6).

representative. This means that we are experiencing a clear lack of data on Eastern Imperial Eagle and Greater Spotted Eagle to assess their mortality during fall migration. But the mortality rate of Eastern Imperial Eagles and Greater Spotted Eagles during the fall migration north of Karatau is likely lower than that of Steppe Eagles several reasons. These two species of eagles make fewer stops and gravitate towards areas with woody vegetation, avoiding open habitats; they use power line supports as perches less often and have flight distances than Steppe Eagles, thereby avoiding many threats, such as death on power lines or shooting. In this regard, it makes sense to establish the following mortality rates for eagles during autumn migration:

контура, летит на ближневосточные и североафриканские зимовки, а другая часть, причём меньшая, уходит в Синьцзянь, Тибет и, вероятно, в бассейн Ганга в Индии.

Для степных орлов из Алтая-Саянского региона важным местом зимовки оказался Восточный Туркменистан. Для некоторых орлов-могильников и степных орлов установлены холодные зимовки, в том числе для 2-х степных орлов – в пределах гнездового ареала.

На зимовки в Туркмению, Иран, Пакистан и Индию орлы летят по 4-м основным маршрутам:

- 1) в обход Карагаты и Памиро-Алая с запада,
- 2) через Карагату в обход Памиро-Алая с запада,
- 3) через Заилийский Алатау, Киргизию, Кашгарию, Каракорум и Гималаи,
- 4) в обход Тянь-Шаня с востока вдоль Таримской впадины или через неё и далее через Каракорум и Гималаи.

Таким образом, проход через Карагату – это один из 4-х вариантов достижения орлами Индо-Пакистанских и Восточно-Иранских зимовок.

Из 34 орлов, начавших миграцию, 20 орлов (58,82%) прошли через Карагату хотя бы один раз за период отслеживания и 14 орлов (41,18%) не пересекали Карагату по причинам гибели, остановки на зимовку севернее либо обхода Карагату с запада (11,76% – 4 орла: степные орлы Аман, Айна, Сарыгуль и орёл-могильник Алтай) или с востока (14,71% – 5 орлов: большой подорлик Зава, степные орлы Ева, Ирма, Шаманка, Тригер) (рис. 4). Из популяции Алтая-Саянского региона без учёта гибели птиц на миграции и без учёта зимовки птиц в гнездовом ареале 19 орлов (79,17%) из 24-х пересекли Карагату, а 5 (20,83%) обошли его с запада (1 орёл-могильник Алтай – 4,17%) или с востока (4 орла: 1 большой подорлик Зава и 3 степных орла Ирма, Тригер и Шаманка – 16,67%). Таким образом, показатель в 80% орлов, тяготеющих к проходу через Карагату, нами был принят базовым для популяционных

9% for Steppe Eagle in accordance with the tracking results, 5% for Eastern Imperial Eagle and Greater Spotted Eagle based on expert judgment.

Wintering in the breeding area was documented only for Steppe Eagle and Eastern Imperial Eagle, and according to the results of an analysis of winter encounters (Bayrashev et al., 2021; Belousov et al., 2021; our data), it seems that the Steppe Eagle often remains in cold wintering grounds. However, this might be an illusion associated with the greater number of Steppe Eagles and, accordingly, more frequent encounters with observers. Wintering in the breeding area is not known for Greater Spotted Eagle on the researched territory; therefore, there is no reason to assume that this species overwinters north of Karatau. In light of this, it makes sense to take the following indicators of overwintering in the nesting area: 6% for Steppe Eagle and Eastern Imperial Eagle in accordance with tracking results, 0% for Greater Spotted Eagle.

The final estimate of the number of eagles migrating in fall through Karatau, taking into account the death of birds during the 1st autumn migration and overwintering in the breeding area, is presented in table 3. The main Karatau migrant is the Steppe Eagle given its largest number among other eagles: 25,548 (22,336–29,504) individuals – 70.83% of the number of eagles flying through Karatau, and 20.15% of the population groups associated with the WCHMC. The next most common eagle that migrates through the Karatau is the Eastern Imperial Eagle – 8,335 (7,945–8,724) individuals – 23.11% of the number of eagles flying through Karatau, and 42.97% of the number of population groups associated with the WCHMC. The Greater Spotted Eagle is the least common species to fly through Karatau, which is explained not only by a smaller population but also by a greater proportion

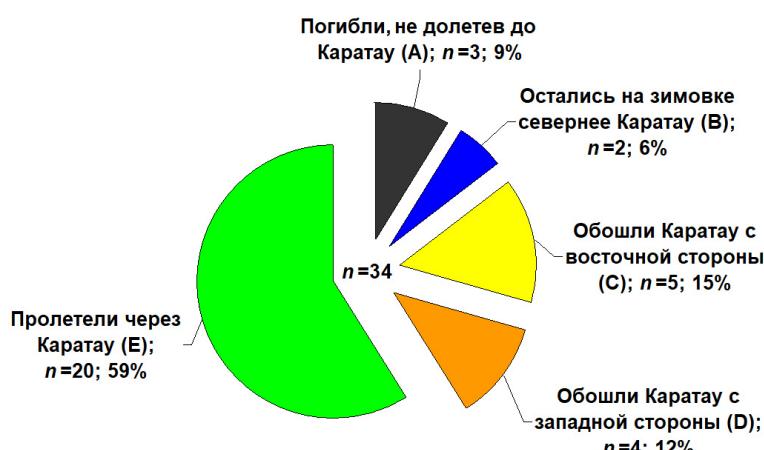


Рис. 4. Статус орлов с трекерами, начавших первую осеннюю миграцию, на миграционном пути от на- тальной области до гор Средней Азии.

Fig. 4. The status of tracked eagles that began the first fall migration, on migration route from the natal region to the mountains of the Central Asia. Legend: A – died without reaching Karatau; B – overwintered north of Karatau; C – bypassed Karatau from the east; D – bypassed Karatau from the west; E – passed through Karatau.

группировок, лежащих в 450 км зоне по обе стороны от осевой линии маршрута миграции алтас-саянских птиц (зона 1 на рис. 3). Из центрально-казахстанской популяционной группировки степных орлов лишь 1 птица из 4-х (25%) пошла через Карагатай (см. табл. 1), причём зимовки 2-х птиц лежали в низовьях Инда, а 2 птицы зимовали на Ближнем Востоке и в Африке, используя Закаспийский и даже Кавказский (Айна) пролётные пути. Поэтому для крайних западных популяционных группировок, ассоциированных с ЗЦГМК, был принят показатель в 20% орлов, тяготеющих к проходу через Карагатай.

По оценкам численности орлов в популяционных группировках, ассоциированных с ЗЦГМК, 27,23% особей стремятся мигрировать через Карагатай (рис. 3, табл. 2). Причём из популяционных группировок Восточно-го Казахстана и Алтас-Саянского региона в сторону Карагатая мигрирует до 80% птиц. Однако эту оценку необходимо корректировать по показателям смертности птиц во время миграции и остановки птиц на «холодные» зимовки в гнездовом ареале.

Согласно данным прослеживания, гибель птиц на осенней миграции составила 14,71% (5 орлов из 34, начавших 1-ю осеннюю миграцию), причём в гнездовом ареале погибли 8,82% птиц (3 орла из 34). На зимовку в гнездовом ареале остались 2 птицы (Бэлла и Шира), причём для одной из них (Бэллы) зимовка оказалась успешной – это 5,88% от 34 прослеживаемых орлов. Таким образом, из всего пула прослеживаемых птиц по причине гибели или остановки на зимовку не пересекли горы Средней Азии 14,71% орлов, а 85,29% мигрировали южнее, преодолев горные преграды.

Вся информация по смертности и остановкам на зимовки в гнездовом ареале относится к степным орлам, так как их было помечено больше, чем орлов-могильников и подорликов, а значит собранный материал более репрезентативен. Т.е., по орлу-могильнику и большому подорлику мы испытываем явную нехватку данных для оценки их смертности на осенней миграции. Но вероятно, что смертность орлов-могильников и больших подорликов на осенней миграции севернее Карагатая ниже, чем таковая степных орлов, по целому ряду причин. Эти два вида орлов делают меньше остановок и на остановках тяготеют к участкам с древесной растительностью, избегая открытых местообитаний, они реже используют опоры ЛЭП в качестве присад и имеют более длинные дистанции

of birds from Western Siberia migrating to the Middle East. As a result, the number of Greater Spotted Eagles flying through Karatau in fall is estimated at 2,186 (2,024–2,348) individuals, which is 6.06% of the number of eagles flying through Karatau, and 31.19% of the number of population groups associated with the WCHMC. Thus, the number of three species of eagles crossing Karatau during the fall migration is estimated at 36,068 (32,305–40,576) individuals.

The number of spring migrants crossing Karatau is based on the fall number minus the birds that died during fall migration after migrants crossed Karatau and during wintering, birds that remained oversummer in their wintering areas, and birds that left for spring migration bypassing Karatau.

Out of the 23 eagles that continued to migrate to East Iranian and Indo-Pakistani wintering grounds associated with the WCHMC, 2 birds (8.7% – Steppe Eagle Tuvin and Eastern Imperial Eagle Turatay) stopped reporting data after crossing Karatau. Steppe Eagle died on Karatau, and Eastern Imperial Eagle disappeared in Afghanistan (conditionally, we consider it also dead, although this has not been confirmed).

21 eagles reached wintering grounds, but 3 Steppe Eagles (Rhea, Kron, and Khan) had not finished wintering by the time of data processing for this article, therefore they are not included in the mortality of birds during wintering. Out of the 18 eagles spending the winter in East Iranian and Indo-Pakistani wintering grounds associated with the WCHMC, 3 died (16.67% – the Steppe Eagles Ita and Shoigu and the Greater Spotted Eagle Zava, all as a result of an electric shock on power lines).

Out of 15 successfully overwintered eagles, 1 bird (6.67% – the Steppe Eagle Sin) remained for the summer at the wintering site in Southeastern Turkmenistan, and only 14 eagles began their spring migration. Summer movements at the northern border of the winter range are also known for Greater Spotted Eagles (Greater Spotted Eagle Moscow, 2021; McGrady et al., 2021), but are not known for Eastern Imperial Eagles; therefore, we do not accept this correction for the latter.

It would seem that it is sufficient to take into account the departure of birds during the winter and the proportion of birds that remain in the wintering zone for the summer to estimate the number of spring migrants through Karatau. However, reality more complex. Spring migration routes of

Табл. 2. Оценка численности орлов, начинающих осеннюю миграцию по Западному Циркум-Гималайскому коридору, преимущественно в русле пролёта через Карагату. Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), PG – популяционная группировка (коды группировок соответствуют таковым на рис. 3), FSP – число слётков на успешную пару, BS – успех размножения (доля успешных гнёзд от числа гнездящихся пар), NBB – число неразмножающихся птиц в учёте на гнездящуюся пару, MK – доля птиц, мигрирующих через Карагату, в популяционной группировке.

Table 2. Population estimate of eagles starting their autumn migration in the Western Circum-Himalayan Migration Corridor, mostly in the flyway through Karatau Ridge. Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), PG – Population group (codes of population groups correspond to those in fig. 3), FSP – Number of fledglings per successful pair, NBB – Number of non-breeding birds per breeding pair, MK – proportion of birds migrating through Karatau in the population group.

Вид Species	PG	Численность гнездящихся пар Number of breeding pairs (M, min-max)	FSP	BS, %	Численность слётков Number of fledglings (M, min-max)	NBB	Численность неразмножающихся птиц Number of non-breeding birds (M, min-max)	Общая численность популяционной группировки Total number of the population group (M, min-max)	MK, %
AN	AN6	12000 (10639-13360)	2.1	58.22	14671 (13007-16334)	3.1	37200 (32981-41416)	75871 (67266-84470)	3.7
AN	AN7	5027 (4520-5592)	1.6	35.36	2844 (2557-3164)	2.7	13573 (12204-15098)	26471 (23801-29446)	48.1
AN	AN8	30 (25-35)	1.5	50.00	23 (19-26)	0.5	15 (13-18)	98 (81-114)	80
AN	AN9	10 (8-12)	1.5	50.00	8 (6-9)	0.5	5 (4-6)	33 (26-39)	80
AN	AN10	1892 (1380-2648)	1.5	42.50	1206 (880-1688)	1.1	2081 (1518-2913)	7071 (5158-9897)	80
AN	AN11-12	70 (60-80)	1.4	50.00	49 (42-56)	0.5	35 (30-40)	224 (192-256)	80
AN	AN13	3000 (2800-3200)	1.6	40.00	1920 (1792-2048)	2.3	6900 (6440-7360)	14820 (13832-15808)	46.1
AN	AN14	369 (341-397)	1.6	43.09	254 (235-274)	1.8	664 (614-715)	1657 (1531-1782)	80
AN	AN15-16	184 (164-204)	1.6	50.00	147 (131-163)	0.3	55 (49-61)	570 (508-632)	73.4
Степные орлы Steppe Eagles		22582 (19937-25528)			21122 (18669-23762)		60529 (53852-67627)	126815 (112396-142445)	
AH	AH10	1204 (1116-1292)	1.4	80.00	1348 (1250-1447)	1.8	2167 (2009-2326)	5924 (5491-6357)	20.1
AH	AH12	360 (338-382)	1.3	77.50	363 (341-385)	2.6	936 (879-993)	2019 (1895-2142)	19.9
AH	AH13	280 (260-300)	1.4	60.00	235 (218-252)	0.6	168 (156-180)	963 (894-1032)	48.2
AH	AH14	380 (370-390)	1.4	69.10	368 (358-377)	2	760 (740-780)	1888 (1838-1937)	80
AH	AH15	100 (90-110)	1.2	75.00	90 (81-99)	0.1	10 (9-11)	300 (270-330)	32
AH	AH16	500 (430-570)	1.9	70.00	665 (572-758)	0.5	250 (215-285)	1915 (1647-2183)	37.8
AH	AH17	135 (130-140)	1.7	75.00	172 (166-179)	0.7	95 (91-98)	537 (517-557)	80
AH	AH18	93 (85-101)	1.5	65.00	91 (83-98)	0.4	37 (34-40)	314 (287-341)	80
AH	AH19	783 (770-797)	1.6	76.50	958 (942-976)	1.5	1175 (1155-1196)	3699 (3637-3765)	80
AH	AH20	363 (348-377)	1.8	76.25	498 (478-517)	1.7	617 (592-641)	1841 (1765-1912)	72.7
Орлы-могильники Imperial Eagles		4198 (3937-4459)			4788 (4488-5088)		6215 (5879-6550)	19399 (18242-20556)	
ACL	ACL-WS	820 (720-920)	1.4	65.00	768 (674-861)	2.6	2132 (1872-2392)	4540 (3986-5093)	7.6
ACL	ACL-OIPF	390 (370-410)	1.6	65.00	416 (394-437)	2.2	858 (814-902)	2054 (1948-2159)	80
ACL	ACL-TCH	75 (65-85)	1.4	65.00	70 (60-79)	1.5	113 (98-128)	332 (288-377)	80
ACL	ACL-KASER	25 (20-30)	1.4	68.00	24 (19-29)	0.4	10 (8-12)	84 (67-101)	56
Большие подорлики Greater Spotted Eagles		1310 (1175-1445)			1277 (1148-1406)		3113 (2792-3434)	7010 (6290-7730)	
BCE ОРЛЫ		28090 (25049-31432)			27188 (24306-30257)		69856 (62523-77610)	153223 (136927-170730)	

Источники данных / Data sources:

1 – Каракин и др., 2005а (Karyakin *et al.*, 2005a), 2 – Каракин и др., 2005б (Karyakin *et al.*, 2005b), 3 – Каракин и др., 2005с (Karyakin *et al.*, 2005c), 4 – Каракин, 2006 (Karyakin, 2006), 5 – Каракин, 2008а (Karyakin, 2008a), 6 – Каракин, 2008б (Karyakin, 2008b), 7 – Каракин, Левин, 2008 (Karyakin, Levin, 2008), 8 – Каракин и др., 2009 (Karyakin *et al.*, 2009), 9 – Важов и др., 2010 (Vazhov *et al.*, 2010), 10 – Каракин, Николенко, 2010 (Karyakin, Nikolenko, 2010), 11 – Рудовский, 2010 (Rudovskiy, 2010), 12 – Важов и др., 2011 (Vazhov *et al.*, 2011), 13 – Брагин и др., 2012 (Bragin *et al.*, 2010), 14 – Зубань, Вилков, 2013 (Zuban, Vilkov, 2013), 15 – Каракин и др., 2013 (Karyakin *et al.*, 2013), 16 – Барашкова, Смелянский, 2014 (Barashkova, Smelansky, 2014), 17 – Каракин и др., 2016а (Karyakin *et al.*, 2016a), 18 – Николенко, Каракин, 2016 (Nikolenko, Karyakin, 2016), 19 – Каракин и др., 2017 (Karyakin *et al.*, 2017), 20 – Губин, 2018 (Gubin, 2018), 21 – Каракин, Забелин, 2018 (Karyakin, Zabelin, 2018), 22 – Каракин и др., 2018б (Karyakin *et al.*, 2018b), 23 – Смелянский и др., 2018 (Smelansky *et al.*, 2021), 24 – Каракин и др., 2019б (Karyakin *et al.*, 2019b), 25 – Каракин и др., 2019f (Karyakin *et al.*, 2019f), 26 – Каракин, 2020 (Karyakin, 2020), 27 – Пуликова и др., 2021 (Pulikov *et al.*, 2021), 28 – Андреенков и др., 2021 (Andreyenkov *et al.*, 2021), 29 – Важов и др., 2021 (Vazhov *et al.*, 2021), 30 – неопубл. данные Левина А.С. (Levin A.S., unpubl. data), 31 – неопубл. данные Коваленко А.В. (Kovalenko A.V., unpubl. data).

Численность птиц, лёгших в русле пролёта к Карагату Number of birds migrating to Karatau (M, min-max)	Источники данных Data sources
2807 (2489-3125)	15, 17
12733 (11448-14164)	19, 25
78 (65-91)	28, 30
26 (21-31)	28, 31
5657 (4126-7918)	16, 23, 27, 29
179 (154-205)	9, 17
6832 (6377-7287)	12, 7, 24, 29
1325 (1225-1426)	22, 24
419 (373-464)	22, 24
30056 (26277-34711)	
1191 (1104-1278)	26, 28
402 (377-426)	13, 26
464 (431-497)	14, 26, 28, 29
1510 (1470-1550)	3, 26
96 (86-106)	26, 28
724 (623-825)	20, 26
429 (413-445)	26, 28, 30
251 (230-273)	26, 28, 30
2959 (2910-3012)	8, 26, 28, 29
1339 (1283-1390)	10, 26, 28
9365 (8927-9802)	
345 (303-387)	5
1643 (1559-1727)	1, 2, 3, 4, 5, 7
266 (230-301)	6
47 (38-57)	6, 11, 18, 21
2301 (2130-2472)	
41722 (37334-46985)	

из орлов в виду его наибольшей численности является степной орёл – 25548 (22336–29504) особей – 70,83% от числа орлов, пролетающих через Карагату, и 20,15% от численности популяционных группировок, ассоциированных с ЗЦГМК. Следующее место по обилию мигрирующих через Карагату орлов занимает орёл-могильник – 8335 (7945–8724) особей – 23,11% от числа орлов, пролетающих

вспугивания, по сравнению со степными орлами, тем самым избегая массы угроз, таких, как гибель на ЛЭП или отстрел. В свете этого имеет смысл принять следующие показатели смертности орлов на осеннеей миграции: для степного орла – 9%, в соответствии с результатами прослеживания, для орла-могильника и большого подорлика – 5%, на основании экспертной оценки.

Зимовки в гнездовом ареале установлены только для степного орла и орла-могильника, причём по результатам анализа зимних встреч (Байрашев и др., 2021; Белоусов и др., 2021; наши данные) складывается впечатление, что степной орёл чаще остаётся на холодных зимовках, но возможно это иллюзия, связанная с большей численностью степных орлов и, соответственно, большей их встречаемостью наблюдателями. Для большого подорлика зимовки в гнездовом ареале на рассматриваемой территории не известны, поэтому нет основания считать, что этот вид зимует севернее Карагату. В свете этого имеет смысл принять следующие показатели остановки орлов на зимовку в гнездовом ареале: для степного орла и орла-могильника – 6%, в соответствии с результатами прослеживания, для большого подорлика – 0.

Итоговая оценка численности орлов, мигрирующих осенью через Карагату, учитывающая гибель птиц на 1-й осеннеей миграции и остановки на зимовку в гнездовом ареале, представлена в табл. 3. Основным мигрантом через Карагату из орлов в виду его наиболь-

many eagles are shifted westward relative to the fall ones. For example, during fall migration from the natal region in Altai Territory (Russia) to the lower Indus (Pakistan), the Greater Spotted Eagle Klangush passed through the eastern part of Karatau 4 times, while 5 of its spring migrations shifted to the western end of Karatau, 302 km on average. The shift of spring flights to the west is also characteristic of Steppe Eagles, which cross Karatau mainly in the eastern part in fall, and in the western part in the spring. Eagles that moved from Southeast Iran to South Iran in winter often bypass Karatau from the west during their spring migration. For example, Steppe Eagle Uragan crossed Karatau in the eastern and central parts on 4 fall migrations, but only 1 of its spring migrations (the third) passed through the western end of Karatau. However, it is difficult to correct the westerly displacement of spring eagles' migration because it is compensated for by the spring migration of birds that crossed the Trans-Ili Alatau and the Karakorum in fall, and even at the expense of birds returning from the Middle East and African wintering grounds. For example, the female Steppe Eagle Aina, who had never crossed the Karatau in fall, crossed its western extremity on her 2nd spring migration (our data); Greater Spotted Eagle, marked during wintering in the UAE, migrated for the summer to Central Kazakhstan through Karatau (Strick et al., 2011). Our visual counts of Greater Spotted Eagles during migrations through Karatau also show that in spring they fly more in the western end of Karatau than in fall (there is no data for the rest of Karatau), but due to the small number of this species, it does not determine the background number of migrating eagles. The westerly shift of spring migrations relative to fall ones is minimal for Eastern Imperial Eagles and does not exceed 100 km, therefore it does not affect the estimate of the number of spring migrants. Hence only Steppe Eagles determine the background number of spring migrants through Karatau. Consequently, we rely mostly on this species when determining the proportion of birds bypassing Karatau from the west during spring migration.

Out of the 14 eagles that started the 1st spring migration, 3 (21.43%) bypassed Karatau from the west. However, taking into account compensation due to migrants in the age group up to 4 years old, this indicator can be reduced by 3 times to calculate the number of spring migrants flying through Karatau.

Thus, according to our calculations, the number of spring migrants through Karatau

Табл. 3. Оценка численности орлов, мигрирующих через Карагатай осенью. Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), PG – популяционная группировка (коды группировок соответствуют таковым на рис. 3), M – смертность птиц на осенней миграции до момента пересечения ими Карагатая, W – доля птиц, остающихся на «холодных» зимовках севернее Карагатая.

Table 3. Population estimate of eagles migrating through Karatau in autumn. Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), PG – Population group (codes of population groups correspond to those in fig. 3), M – mortality of birds in autumn migration before their flight through Karatau, W – percentage of birds staying on «cold» winterings north of Karatau.

Вид Species	PG	Численность птиц, летящих в русле пролёта к Карагатай The number of birds migrating in the direction to Karatau (M, min-max)		M, %	W, %	Численность птиц, пролетающих через Карагатай The number of birds migrating across Karatau (M, min-max)	
		M	min-max				
AN	AN6	2807	(2489–3125)	9	6	2386	(2116–2656)
AN	AN7	12733	(11448–14164)	9	6	10823	(9731–12039)
AN	AN8	78	(65–91)	9	6	66	(55–77)
AN	AN9	26	(21–31)	9	6	22	(18–26)
AN	AN10	5657	(4126–7918)	9	6	4808	(3507–6730)
AN	AN11-12	179	(154–205)	9	6	152	(131–174)
AN	AN13	6832	(6377–7287)	9	6	5807	(5420–6194)
AN	AN14	1325	(1225–1426)	9	6	1126	(1041–1212)
AN	AN15-16	419	(373–464)	9	6	356	(317–394)
Степные орлы / Steppe Eagles		30056 (26278–34711)				25548 (22336–29504)	
AH	AH10	1191	(1104–1278)	5	6	1060	(983–1137)
AH	AH12	402	(377–426)	5	6	358	(336–379)
AH	AH13	464	(431–497)	5	6	413	(384–442)
AH	AH14	1510	(1470–1550)	5	6	1344	(1308–1380)
AH	AH15	96	(86–106)	5	6	85	(77–94)
AH	AH16	724	(623–825)	5	6	644	(554–734)
AH	AH17	429	(413–445)	5	6	382	(368–396)
AH	AH18	251	(230–273)	5	6	223	(205–243)
AH	AH19	2959	(2910–3012)	5	6	2634	(2590–2681)
AH	AH20	1339	(1283–1390)	5	6	1192	(1142–1237)
Орлы-могильники / Imperial Eagles		9365 (8927–9802)				8335 (7945–8724)	
ACL	ACL-WS	345	(303–387)	5	0	328	(288–368)
ACL	ACL-OIPF	1643	(1559–1727)	5	0	1561	(1481–1641)
ACL	ACL-TCH	266	(230–301)	5	0	253	(219–286)
ACL	ACL-KASER	47	(38–57)	5	0	45	(36–54)
Большие подорлики Greater Spotted Eagles		2301 (2130–2472)				2186 (2024–2348)	
ВСЕ ОРЛЫ / TOTAL EAGLES		41722 (37335–46985)				36068 (32305–40577)	

через Карагатай, и 42,97% от численности популяционных группировок, ассоциированных с ЗЦГМК. Меньше всего через Карагатай летит большого подорлика, что связано не только с меньшей численностью этого вида, но и с большей долей птиц из Западной Сибири, мигрирующих на Ближний Восток. В итоге численность больших подорликов, пролетающих осенью через Карагатай, оценивается в 2186 (2024–2348) особей, что составляет 6,06% от числа орлов, пролетающих через Карагатай, и 31,19% от численности популяционных группи-

based on average half-year mortality of 3 eagle species marked with trackers (death during autumn migration and wintering), oversumming at wintering sites, and bypassing Karatau is 39.18% less than in fall for the Steppe Eagle, 25.37% less for the Eastern Imperial Eagle, and 21.54% less for the Greater Spotted Eagle (fig. 5). Compensation for individuals that migrated east of Karatau in the fall and went through Karatau in the spring was taken into account for the latter species.

The final estimate of the number of eagles migrating through Karatau in spring is pre-

ровок, ассоциированных с ЗЦГМК. Таким образом, численность орлов трёх видов, пересекающих Карагатай на осеннеей миграции, оценивается в 36068 (32305–40576) особей.

Численность весенних мигрантов через Карагатай складывается из осеннеей численности за вычетом птиц, погибших на осеннеей миграции после пересечения мигрантами Карагатай и на зимовках, птиц, оставшихся летовать в местах их зимовки и птиц, ушедших в весеннюю миграцию в обход Карагатай.

Из 23 орлов, продолживших миграцию на Восточно-Иранские и Индо-Пакистанские зимовки, ассоциированные с ЗЦГМК, после пересечения Карагатай 2 птицы (8,7% – степной орёл Тувин и орёл-могильник Туратай) выпали из прослеживания, причём степной орёл погиб на Карагатай, а орёл-могильник пропал в Афганистане (условно мы его считаем также погибшим, хотя это не подтверждено).

Достиг зимовок 21 орёл, но 3 степных орла (Рея, Крон и Хан) не закончили зимовку к моменту обработки данных для этой статьи, поэтому не анализируются в смертности птиц на зимовках. Таким образом, из 18 орлов, проводящих зиму на Восточно-Иранских и Индо-Пакистанских зимовках, ассоциированных с ЗЦГМК, погибли 3 (16,67% – степные орлы Ита и Шойгу и большой подорлик Зава, все в результате поражения электротоком на ЛЭП).

Из 15 благополучно перезимовавших орлов 1 птица (6,67% – степной орёл Син) осталась на лето на месте зимовки в Юго-Восточном Туркменистане, и только 14 орлов начали весеннюю миграцию. Летние перемещения на северной границе зимнего ареала известны также для больших подорликов (Greater Spotted Eagle Moscow, 2021; McGrady *et al.*, 2021), но не известны для орлов-могильников, поэтому для последних мы не принимаем эту поправку.

Казалось бы, для оценки численности весеннеей миграции через Карагатай достаточно учитывать отход птиц на зимовке и долю птиц, которые остаются на лето в зоне зимовок. Однако картина выглядит более сложной. Пути весеннеей миграции многих орлов смешены в западном направлении относительно путей осеннеей миграции. Так, например, большой подорлик Клангуша на осеннеей миграции из натальной области в Алтайском крае (Россия) в низовья Инда (Пакистан) 4 раза проходил через восточную часть Карагатай, в то время как 5 его весенних миграций были смешены

sented in table 4. As for the fall migration, the main spring migrant through Karatau is the Steppe Eagle at 15,536 (13,584–17,942) individuals – 66.19% of the number of eagles flying through Karatau (60.82% of the population during the fall migration). The next place is occupied by Eastern Imperial Eagle at 6,220 (5,931–6,510) individuals – 26.50% – of the number of eagles flying through Karatau (74.63% of the population during fall migration). And in last place is the Greater Spotted Eagle at 1,716 (1,588–1,843) individuals, of which 7.31% of the number of eagles flying through the Karatau (78.46% of the population during the fall migration). The number of three eagle species crossing Karatau during the spring migration is estimated at 23,472 (21,103–26,295) individuals, which is 65.08% of the number of migrating eagles in fall (fig. 6).

Data on the eagles' survival rate in the first migration cycle for the entire pool of tracked birds, including those that did not migrate through Karatau, is presented in fig. 7.

Eagle distribution while crossing Karatau during fall and spring migrations

Analysis of eagle track density (Kernel-method, R=100 km, points along the track distributed every 1 km) showed the importance of the Karatau on the scale of the entire WCHMC (fig. 8). The zone of increased migration density (fall and spring in total) stretches in a rather narrow strip 200–250 km wide from the Chu-Ili mountains in Kazakhstan through Karatau, Nuratau (Uzbekistan), southeast of Turkmenistan to the break between the Kopet Dag (Turkmen-Khorasan) mountains and Paropamiz at the Iranian-Afghan border. The centers of maximum track density in this migration corridor lie on both sides of the eastern Karatau, which is determined not only by migration but also by the summer and winter movements of eagles in the passage.

Complete mapping of the tracks of eagles 1 to 4 years of age from the populations associated with WCHMC showed the following (fig. 9):

- during fall migration Steppe Eagles fly in a wide front across the entire Karatau, and about 10% of migrants from western nesting groups pass between the southwestern slope of Karatau and the Syr Darya valley; the distribution of migrants in the Karatau is uneven, and 80% of birds fly through the eastern and central parts of Karatau including the western end of the Trans-Ili Alatau (possibly up to 60% of Steppe Eagles that have chosen the route

к западной оконечности Карагату, в среднем на 302 км. Смещение весенних пролётов в западном направлении характерно и для степных орлов, которые осенью пересекают Карагату преимущественно в восточной части, а весной – в западной. Орлы, переместившиеся в зимнее время из Юго-Восточного Ирана в Южный, часто на весеннеей миграции обходят Карагату с запада. Например, степной орёл Ураган на 4-х осенних миграциях пересекал Карагату в восточной и центральной части, но лишь одна его весенняя миграция, причём только 3-я, прошла через западную оконечность Карагату. Однако поправку на западное смещение весеннеей миграции орлов корректно сделать сложно из-за того, что она компенсируется за счёт весеннего пролёта птиц, которые осенью пересекали Заилийский Алатау и Каракорум, и даже за счёт птиц, возвращающихся с Ближневосточных и Африканских зимовок. Так, например, самка степного орла Айна, ни разу не пересекавшая Карагату осенью, на своей 2-й весеннеей миграции пересекла его западную оконечность (наши данные); большой подорлик, помеченный на зимовке в ОАЭ, мигрировал на лето в Центральный Казахстан через Карагату (Strick *et al.*, 2011). Также и наши визуальные учёты больших подорликов на миграциях через Карагату показывают, что весной в западной оконечности Карагату их летит больше, чем осенью (по остальной части Карагату данных нет), но из-за незначительной численности этого вида она не определяет фоновую численность мигрирующих орлов. Для орлов-могильников западное смещение весенних миграций относительно осенних минимально и не превышает 100 км, поэтому не влияет на оценку численности весенних мигрантов. Следовательно, только степные орлы определяют фоновую численность весенних мигрантов через Карагату. Поэтому при определении доли птиц, обходящих Карагату с запада на весеннеей миграции, мы опираемся практически только на этот вид.

Из 14 орлов, начавших первую весеннюю миграцию, 3 (21,43%) обошли Карагату с запада, но, учитывая компенсацию за счёт мигрантов в возрастной группе до 4-х лет, можно в 3 раза сокращать этот показатель для расчёта численности весенних мигрантов через Карагату.

Таким образом, в наших расчётах численность весенних мигрантов через Карагату в соответствии с усреднённым полугодовым отходом 3-х видов орлов, по-

through Karatau can fly through Chokpak); Steppe Eagle spring migration routes are displaced in the western direction, about 50% of migrants account for the eastern half of Karatau, 30% of eagles pass through the western part of the ridge, and 20% through the center (in total, about 60% of Steppe Eagles pass through the Western, Central, and west of Eastern Karatau during spring migration);

– in fall, Eastern Imperial Eagles fly through the central and eastern parts of Karatau, including the western end of Trans-Ili Alatau, with 80% of birds passing the southeast of Karatau in the Chokpak region; spring migration follows an identical route, but the same 80% of migrants are distributed throughout the entire eastern half of Karatau;

– during fall migrations Greater Spotted Eagles fly in a wide front across the entire Karatau (as well as bypassing it from the west and through the Trans-Ili Alatau), but there is not enough data to calculate the proportion of birds passing through the eastern half of Karatau (it is likely more attractive than western); during spring migrations Greater Spotted Eagles are distributed throughout the Karatau with the greatest concentration in its western part; based on the tracking of Greater Spotted Eagle Klangush, key bird areas at Telikol Lakes (KZ068) and Lakes in the lower reaches of the Chu river (KZ069) lying at the northwestern tip of Karatau are important stopping places for Greater Spotted Eagles during spring migrations and even the summering of first-year birds.

Eastern Karatau is the leader in the number of eagles passing through it in fall: 83.39% of the track segments of 3 eagle species (261 out of 313) are concentrated here, while the western part of Karatau accounts for 9.27%. However, in spring fewer eagles fly through the eastern part of Karatau – 51.16% of track segments of 3 eagle species (66 out of 129), and more fly through the western part – 30.23% (fig. 10).

The results of the analysis of the eagles' tracks density (Kernel method, R=20 km, distribution of points along the track every 0.1 km) and grid mapping shown in fig. 11 demonstrate zones of increased density and the number of points and tracks in cells during the eagles' migratory movements through Karatau (movements at stops are excluded from analysis).

The importance of Karatau is not only determined by the passage of a large number of birds in a rather narrow zone of the eastern

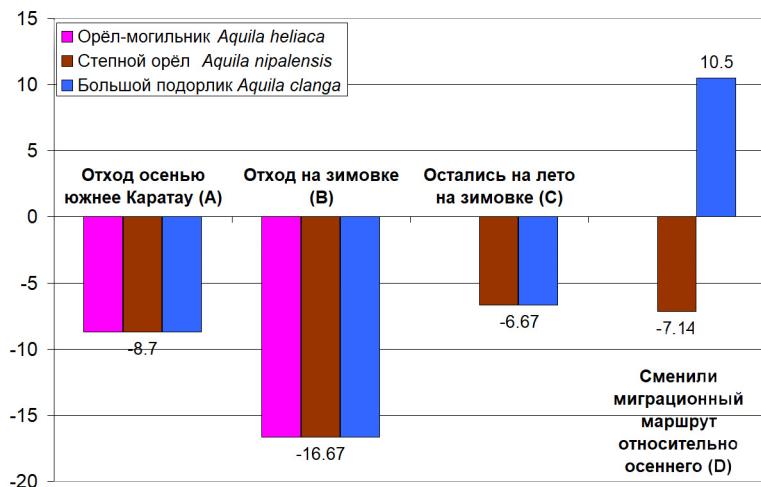


Рис. 5. Показатели смертности, летовки в зимнем ареале и смещения миграционных маршрутов для оценки численности весенних мигрантов через Каратау.

Fig. 5. Rates of mortality, summering in winter range and shifts of migration routes to estimate the population of spring migrants through Karatau. Legend: A – died during autumn migration south of Karatau, B – died during wintering, C – stayed for summer in the wintering zone, D – changed migration route against the autumn one and either flew around Karatau or through it.

меченных трекерами (гибель на осенней миграции и зимовке), задержкой птиц на лето в местах зимовки и миграцией в обход Каратау меньше осенней на 39,18% для степного орла, на 25,37% для орла-могильника и на 21,54% для большого подорлка (рис. 5). Для последнего вида учтена компенсация за счёт особей, осенью мигрировавших восточнее Каратау, а весной – отправившихся через Каратау.

Итоговая оценка численности орлов, мигрирующих весной через Каратау, представлена в табл. 4. Основным весенним мигрантом через Каратау из орлов, как и на осенней миграции, является степной орёл – 15536 (13584–17942) особей – 66,19% от числа орлов, пролетающих через Каратау (60,82% от численности в осеннюю миграцию). Следующее место занимает орёл-могильник – 6220 (5931–6510) особей – 26,50% от числа орлов, пролетающих через Каратау (74,63% от численности в осеннюю миграцию). И на последнем месте находится большой подорлик – 1716 (1588–1843) особей, что составляет 7,31% от числа орлов, пролетающих через Ка-

Karatau but also by their numerous stops, both for a night and a few days, on the ridge and along its periphery, especially on the south-eastern trail (fig. 12).

Eagle migration parameters through Karatau

Most eagles cross Karatau southwestward during the fall migration (fig. 13, table 5). The range of 180–315° contains 81.35% of hourly segments of bird tracks crossing Karatau ($n=311$). During fall migration, Eastern Imperial Eagles ($n=55$) move mainly in the direction from 225 to 285° (67.27%); Steppe Eagles ($n=244$) – in a wider range, from 195 to 315° (78.69%); Greater Spotted Eagles ($n=13$), on the contrary, in a narrower range, from 180 to 225° (53.85%), which, however, may be to a lack of data. In the directions range from 180 to 315°, 51.72% of eagle track segments lie in the western part of Karatau (15 out of 29), and 83.14% – in the eastern part (217 out of 261). At the same time, eagles pass central Karatau mainly in the direction of 240–270° – 60.87% of track segments (14 out of 23). No reliable difference in movement directions

Рис. 6. Оценка численности орлов, мигрирующих через Каратау осенью и весной.

Fig. 6. Population estimate of eagles migrating through Karatau in autumn and spring.

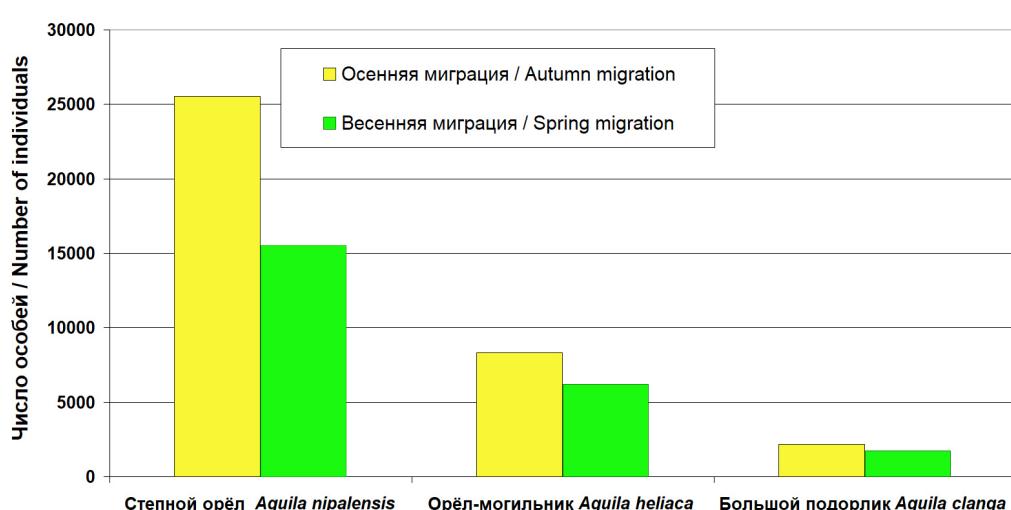


Табл. 4. Оценка численности орлов, мигрирующих через Карагату весной. Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), PG – популяционная группировка (коды группировок соответствуют таковым на рис. 3), MA – смертность птиц на осенней миграции после пересечения ими Карагату, MW – смертность птиц на зимовке, S – доля птиц, остающихся на лето на зимовках южнее Карагату, T – доля птиц, летящих в обход Карагату, K – компенсация за счёт птиц, летящих весной через Карагату, но осенью летевших другими маршрутами.

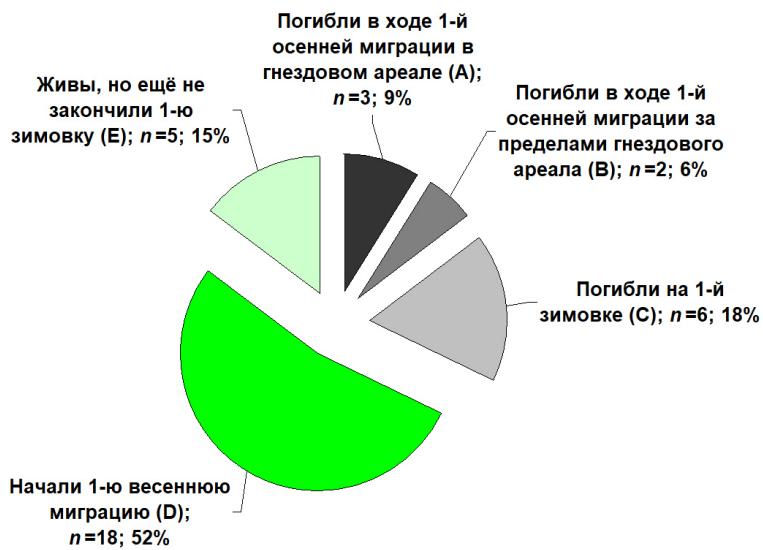
Table 4. Population estimate of eagles migrating through Karatau in spring. Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), PG – Population group (codes of population groups correspond to those in fig. 3), MA – bird mortality in autumn migration after flying through Karatau, MW – bird mortality on wintering, S – percentage of birds staying in summer on wintering grounds south of Karatau, T – percentage of birds flying around Karatau, K – compensation due to birds flying through Karatau in spring, but by other routes in autumn.

Вид Species	PG	Численность птиц, пролетающих через Карагату осенью Birds migrating across Karatau in autumn (M, min-max)						Численность птиц, пролетающих через Карагату весной Birds migrating across Kara- tau in spring (M, min-max)		
		MA, %	MW, %	S, %	T, %	K, %				
AN	AN6	2386 (2116–2656)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			1451 (1287–1615)
AN	AN7	10823 (9731–12039)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			6582 (5918–7322)
AN	AN8	66 (55–77)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			40 (33–47)
AN	AN9	22 (18–26)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			13 (11–16)
AN	AN10	4808 (3507–6730)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			2924 (2133–4093)
AN	AN11-12	152 (131–174)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			92 (80–106)
AN	AN13	5807 (5420–6194)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			3532 (3296–3767)
AN	AN14	1126 (1041–1212)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			685 (633–737)
AN	AN15-16	356 (317–394)	8.7	16.7	6.7	21.4	14.3			217 (193–240)
Степные орлы Steppe Eagles		25548 (22336–29504)								15536 (13584–17942)
AH	AH10	1060 (983–1137)	8.7	16.7	0	0	0			791 (734–849)
AH	AH12	358 (336–379)	8.7	16.7	0	0	0			267 (251–283)
AH	AH13	413 (384–442)	8.7	16.7	0	0	0			308 (287–330)
AH	AH14	1344 (1308–1380)	8.7	16.7	0	0	0			1003 (976–1030)
AH	AH15	85 (77–94)	8.7	16.7	0	0	0			63 (57–70)
AH	AH16	644 (554–734)	8.7	16.7	0	0	0			481 (413–548)
AH	AH17	382 (368–396)	8.7	16.7	0	0	0			285 (275–296)
AH	AH18	223 (205–243)	8.7	16.7	0	0	0			166 (153–181)
AH	AH19	2634 (2590–2681)	8.7	16.7	0	0	0			1966 (1933–2001)
AH	AH20	1192 (1142–1237)	8.7	16.7	0	0	0			890 (852–923)
Орлы-могильники Imperial Eagles		8335 (7945–8724)								6220 (5931–6510)
ACL	ACL-WS	328 (288–368)	8.7	16.7	6.7	10.7	21.2			257 (226–289)
ACL	ACL-OIPF	1561 (1481–1641)	8.7	16.7	6.7	10.7	21.2			1225 (1162–1287)
ACL	ACL-TCH	253 (219–286)	8.7	16.7	6.7	10.7	21.2			198 (172–224)
ACL	ACL-KASER	45 (36–54)	8.7	16.7	6.7	10.7	21.2			35 (28–42)
Большие подорлики Greater Spotted Eagles		2186 (2024–2348)								1716 (1588–1843)
BCE ОРЛЫ TOTAL EAGLES		36068 (32305–40577)								23472 (21103–26295)

ратай (78,46% от численности в осеннюю миграцию). Численность орлов трёх видов, пересекающих Карагату на весенней миграции, оценивается в 23472 (21103–26295) особей, что составляет 65,08% от численности мигрирующих орлов осенью (рис. 6).

На рис. 7 представлены данные по выживаемости орлов в первый миграционный

between eagle species was found, although it was reliable between Eastern Imperial Eagles and Steppe Eagles ($T=493$, $Z=2.32$, $p=0.02$) and between Steppe Eagles and Greater Spotted Eagles ($T=14$, $Z=2.2$, $p=0.03$). At the same time, there is a reliable difference between eagles' movement directions during the fall flight in eastern and central Karatau ($T=0$,



цикла по всему пути прослеживаемых птиц, включая тех, которые не мигрировали через Карагатай.

Распределение орлов во время пересечения ими Карагатая на осеннеей и весенней миграциях

Анализ плотности треков орлов (Kernel-метод, $R=100$ км, распределение точек по треку через 1 км) показал важность Карагатая в масштабах всего ЗЦГМК (рис. 8). Зона повышенной плотности орлов на миграциях (осенняя и весенняя в сумме) тянется достаточно узкой полосой шириной 200–250 км от Чу-Илийских гор в Казахстане через Карагатай, Нурагатай (Узбекистан), юго-восток Туркменистана к прорыву между Туркмено-Хорасанскими горами и Паропамизом на Ирано-Афганской границе. Очики максимальной плотности треков в этом миграционном коридоре лежат по обе стороны

Рис. 7. Выживаемость орлов с трекерами в первый год жизни до начала первой весенней миграции (E – орлы, помеченные в 2021 г.).

Fig. 7. Survival rate of eagles with trackers in 1st year of life before 1st spring migration. Legend: A – died during 1st autumn migration in the breeding range, B – died during 1st autumn migration outside the breeding range, C – died during 1st wintering, D – started 1st spring migration, E – alive, but not yet finished 1st wintering (eagles tagged in 2021).

$Z=4.2$, $p=0.000$), western and central Karatau ($T=0$, $Z=4.2$, $p=0.000$), and western and eastern Karatau ($T=0$, $Z=3.0$, $p=0.000$).

During spring migration, eagles mainly move through Karatau in a northeastern direction. The proportion of birds flying to the northwest (mostly through western Karatau) is already noticeable (fig. 13, table 5). 59.38% of the hourly segments of bird tracks crossing Karatau ($n=128$) are in the range of 1–90°, and 32.81% in the range of 241–360°. During spring migration, Eastern Imperial Eagles ($n=33$) move mainly in the direction from 16 to 105° (90.91%). Greater Spotted Eagles ($n=7$) move in the range from 300 to 360° (71.43%). But among Steppe Eagles ($n=88$), 53.41% of birds move in the directions range from 15 to 90° and 31.82% – from 255 to 345°. In western Karatau, 58.97% of eagle track segments (23 out of 39) lie in the directions range between 270 and 360°, in the eastern part – 78.79% (52 out of 66) – in the directions range between 1 and 90°. 48.53% of the segments of eagle tracks (11 out of 24) in the central Karatau in the directions range from 30 to 75°. The difference in movement directions is reliable between Eastern

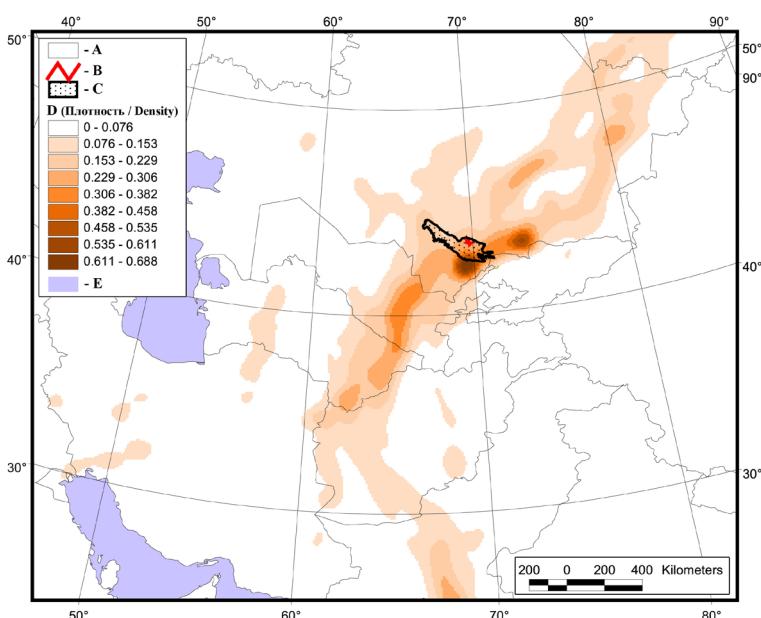


Рис. 8. Карта плотности мигрирующих степных орлов, орлов-могильников и больших подорликов в сумме на осеннеей и весенней миграции (включая остановки) в Западном Циркум-Гималайском миграционном коридоре. Условные обозначения: А – границы стран, В – Жанатасская ВЭС, С – хребет Карагатай, D – плотность точек орнных треков на 1 км² (точки распределены по треку через 1 км), Е – водоёмы.

Fig. 8. Map of the density of migrating Steppe Eagles, Imperial Eagles, and Greater Spotted Eagles in total autumn and spring migration (including stops) in the Western Circum-Himalayan Migration Corridor. Legend: A – borders of countries, B – Zhanatas WPP, C – Karatau Ridge, D – density of eagle track points per 1 km² (points are distributed along the track in 1 km), E – waters.

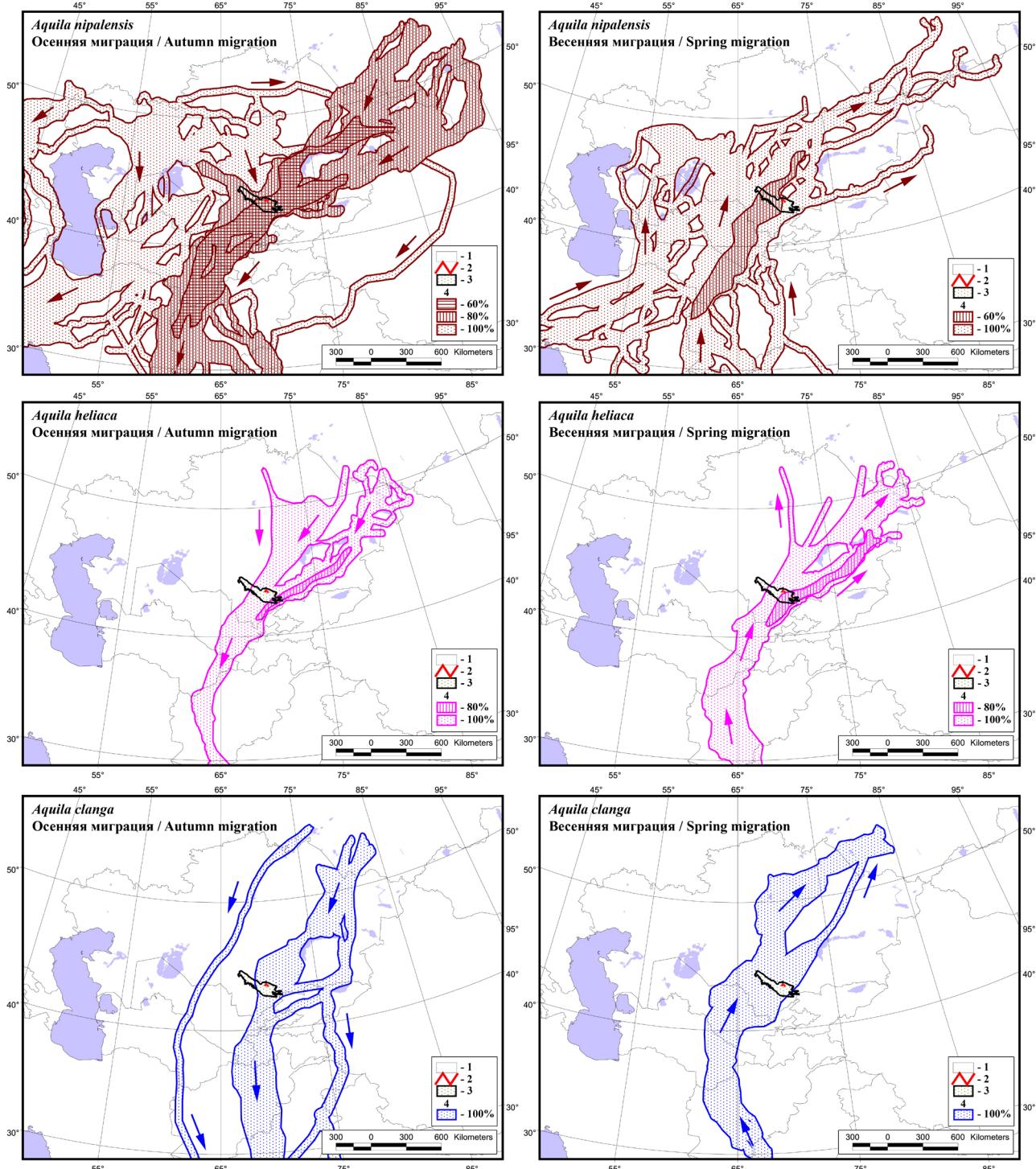


Рис. 9. Схема осенней и весенней миграций степных орлов, орлов-могильников и больших подорликов в Западном Циркум-Гималайском миграционном коридоре. Условные обозначения: 1 – границы стран, 2 – Жанатасская ВЭС, 3 – хребет Карагатай, 4 – зоны с различной долей птиц, пролетающих в их границах во время миграции.

Fig. 9. Schematic of autumn and spring migration of Steppe Eagles, Imperial Eagles and Greater Spotted Eagles in the Western Circum-Himalayan Migration Corridor. Legend: 1 – borders of the countries, 2 – Zhanatas WPP, 3 – Karatau Ridge, 4 – zones with a different percentage of birds flying within their borders during migration.

восточного Карагатая, что определяется не только миграцией, а также летними и зимними перемещениями орлов в коридоре пролёта.

Полное картографирование треков орлов 1–4 годов жизни из популяций, ассоци-

Imperial Eagles and Steppe Eagles ($T=106$, $Z=3.12$, $p=0.002$), and Eastern Imperial Eagles and Greater Spotted Eagles ($T=0$, $Z=2.37$, $p=0.02$) but not reliable between Steppe Eagles and Greater Spotted Eagles ($T=6$, $Z=1.35$, $p=0.2$). A significant reliable

ированных с ЗЦГМК, показал следующее (рис. 9):

- степные орлы на осеннеей миграции летят широким фронтом через весь Ка-ратай, а около 10% мигрантов из западных гнездовых группировок проходят между юго-западным склоном Ка-ратая и долиной Сырдарьи; распределение мигрантов в Ка-ратая не равномерно и 80% птиц пролета-ет через восточную и центральную часть Ка-ратая с захватом западной оконечно-сти Заилийского Алатау (вероятно до 60% степных орлов, выбравших маршрут через Ка-ратая, может лететь через Чокпак); пути весеннеей миграции степных орлов смеше-ны в западном направлении и на восточ-ную половину Ка-ратая приходится около 50% мигрантов, 30% орлов проходят че-рез западную часть хребта и 20% – через центр (в сумме через Западный, Централь-ный и запад Восточного Ка-ратая проходит около 60% степных орлов на весеннеей ми-грации);

- орлы-могильники осенью летят через центральную и восточную части Ка-ратая с захватом западной оконечности Заилий-ского Алатау, причём 80% птиц проходит через юго-восток Ка-ратая в районе Чок-пака; весенняя миграция лежит в том же русле пролёта, но те же 80% мигрантов уже распределяются по всей восточной половине Ка-ратая;

- большие подорлики на осеннеем про-лете, видимо, летят широким фронтом через весь Ка-ратая (а также в обход его с запада и через Заилийский Алатау), однако данных явно не хватает, чтобы посчитать, какова доля птиц, проходящих через вос-точную половину Ка-ратая (весьма веро-ятно, что она более привлекательна, чем западная); весной подорлики распределя-ются на миграции по всему Ка-ратая с наи-большей концентрацией в его западной части. Судя по прослеживанию подорлика Клангуши, ключевые орнитологические

difference was also found in the directions of eagles' spring movements in the eastern and western parts of Karatau ($T=107.5$, $Z=3.81$, $p=0.000$), and an unreliable difference in the eastern and central parts of Karatau ($T=74$, $Z=2.17$, $p=0.03$).

Some birds move along the axial part of the ridge both in fall and spring (see fig. 12), but the proportion of such movements does not exceed 14.29% (10 passes out of 70).

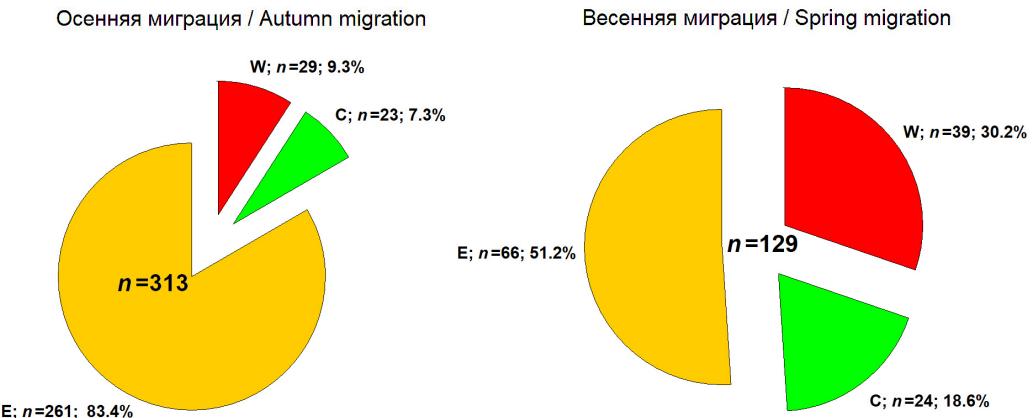
Eagle speed during migration is defined by the alternation of soaring and rising in thermals. Eagles fly much more slowly when pass-ing over mountainous obstacles than when overflying plains, as they are forced to regu-larly gain altitude. The decrease in average migration speed is also significantly affected by stops in the mountains while crossing them. Even if we exclude the eagles' move-ment at stops, as well as track segments at speeds below 5 km/h, a whole pool of track segments before and after stops remains when the birds are forced to slowly descend or, on the contrary, rise from the ground and gain altitude. These moments have an impact on the decrease in the average migration rate, but it is not possible to filter them out at the frequency of tracking locations every 30 minutes – 1 hour.

During migration through Karatau, eagles' movement speed varies widely from 5 to 90.1 km/h, averaging ($n=548$) 24.84 ± 15.35 km/h. Moreover, eagles definitely fly faster (from 5.20 to 90.1 km/h, on average 27.77 ± 17.22 km/h, $n=180$) during spring migration than in the fall (from 5.0 to 78. 69 km/h, on average 23.4 ± 14.15 km/h, $n=368$) with a reliable dif-ference ($T=1271$, $Z=9.82$, $p=0.0000$).

There are also differences in migration rates between species. Thus, larger Eastern Imperial Eagles fly through Karatau at a speed of 5.51–74.77 km/h, on average ($n=112$) 18.24 ± 11.49 km/h while the average move-ment speed of smaller Steppe Eagles is reliably higher ($T=526$, $Z=7.66$, $p=0.0000$) and is

Рис. 10. Диаграмма осеннеей и весеннеей миграций орлов через западную (W), центральную (C) и восточ-ную (E) части Ка-ратая (по числу сегментов треков).

Fig. 10. Diagram of autumn and spring migrations of eagles through western (W), central (C), and eastern (E) parts of Karatau (by numbers of track segments).



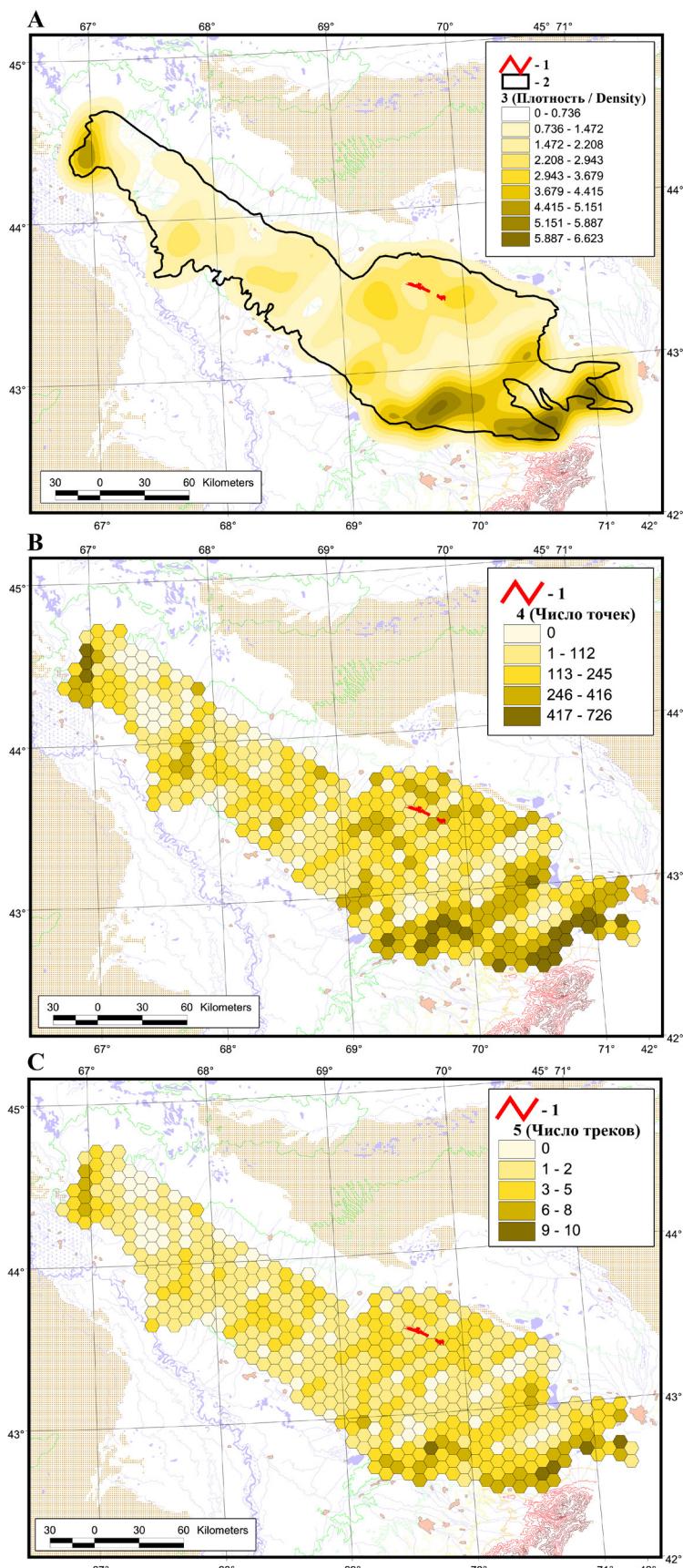


Рис. 11. Плотность треков (A) и результаты сеточного картирования миграций орлов через Карагату по числу точек в ячейке (B) и числу пролётов птиц через ячейку (C). Плотность точек орлиных треков на 1 км² (точки распределены по треку через 1 км). Условные обозначения: 1 – Жанатасская ВЭС, 2 – хребет Карагату.

Fig. 11. Track density (A) and results of grid mapping of eagle migrations through Karatau by the number of points in a cell (B) and the number of bird flights through a cell (C). Legend: 1 – Zhanatas WPP, 2 – Karatau Ridge, 3 – density of eagle track points per 1 km² (points are distributed along the track in 1 km), 4 – number of track points in a cell, 5 – number of tracks in a cell.

(n=397) 26.41 ± 15.74 km/h (from 5.0 to 90.1 km/h). Greater Spotted Eagles are the smallest of the considered group of species and move at a speed of 6.59 to 79.95 km/h, on average (n=39) 27.81 ± 16.12 km/h, which is significantly higher than the speed of Eastern Imperial Eagles ($T=18$, $Z=5.19$, $p=0.0000$) and Steppe Eagles ($T=10$, $Z=5.3$, $p=0.0000$).

The difference between movement speed of the 3 eagle species during the fall and spring migrations is shown in table 6 and fig. 14.

The difference in the movement speed of different sexes of Steppe Eagles during migrations was described earlier – females, despite their heavier weight, showed higher speeds than males (Karyakin *et al.*, 2019e). During flight through Karatau, female Steppe Eagles also showed higher speeds (n=119, on average 28.62 ± 17.56 km/h, *lim* 5.23–90.1 km/h) than males (n=278, on average 25.46 ± 14.82 km/h, *lim* 5.0–77.5 km/h, $T=487$, $Z=8.18$, $p=0.0000$), as well as in fall (females: n=70, on average 26.08 ± 15.97 km/h, *lim* 5.92–78.69 km/h, males: n=220, on average 25.0 ± 14.02 km/h, *lim* 5.0–77.5 km/h, $T=0$, $Z=7.27$, $p=0.0000$), and in spring (females: n=49, on average 32.25 ± 19.21 km/h, *lim* 5.23–90.1 km/h, males: n=58, on average 27.2 ± 17.57 km/h, *lim* 5.2–74.36 km/h, $T=25$, $Z=5.77$, $p=0.0000$) (fig. 14). It can be expected that the speed of females on migrations is also higher than that of males for Eastern Imperial Eagles and Greater Spotted Eagles; however, there is not enough data to test the hypothesis for these species.

No significant difference in the movement speed of the eagles relative to orography or movement direction was found. Maximum speeds are typical for birds crossing the axial part of Karatau or flying along its western end without stopping (fig. 15). A more significant influence on movement speed is exerted by the direction and strength of the wind, both of which vary greatly from season to season.

территории Теликольские озёра (KZ068) и Озёра в низовьях реки Чу (KZ069), лежащие у северо-западной оконечности Карагату, являются важными местами остановок

подорликов на весеннем пролёте и даже летовки первогодок.

Восточный Карагатай по сумме проходящих через него осенью орлов явно лидирует – здесь сосредоточено 83,39% сегментов треков орлов 3-х видов (261 из 313), в то время как на западную часть Карагатая приходится 9,27%. Но уже весной через восточную часть Карагатая летит меньше орлов – 51,16% сегментов треков орлов 3-х видов (66 из 129), а через западную – больше – 30,23% (рис. 10).

Анализ плотности треков орлов (Kernel-метод, R=20 км, распределение точек по треку через 0,1 км) и сеточное картирование, результаты которых представлены на рис. 11, наглядно демонстрируют зоны повышенной плотности и количества точек и треков в ячейках во время миграционных перемещений орлов через Карагатай (перемещения на остановках исключены из анализа).

Важность Карагатая определяется не только пролётом большого количества птиц в достаточно узкой зоне восточного Карагатая, но и многочисленными остановками,

According to GPS tracker data, eagle flight altitude over Karatau ($n=217$) was determined to range from 52 to 771 m, averaging 286.61 ± 156.4 m (median 254 m, asymmetry 0.78) (fig. 16). Eagles crossed Karatau at lower altitudes in fall (52–730 m, on average 281.24 ± 152.47 m, $n=156$) than in spring (54–771 m, on average 300.36 ± 166.56 m, $n=61$; $T=0$, $Z=6.28$, $p=0.0000$).

According to visual observations ($n=219$), eagle flight altitude over Karatau varied from 50 to 400 m, averaging 237.71 ± 82.03 m (median 230 m, asymmetry -0.07) (fig. 16). The lack of visual observations of eagles at altitudes above 400 m indicates the difficulty of interpreting bird flight altitudes in the range from 400 to 1000 m. However, birds fly at these altitudes in small numbers.

According to visual observations, the flight altitude of Greater Spotted Eagles was higher than that of the Steppe Eagles or Eastern Imperial Eagles, varying from 80 to 400 m, averaging ($n=17$) 295.59 ± 103.24 m. However, there is not enough data, as Greater Spotted Eagles accounted for only 7.76% of

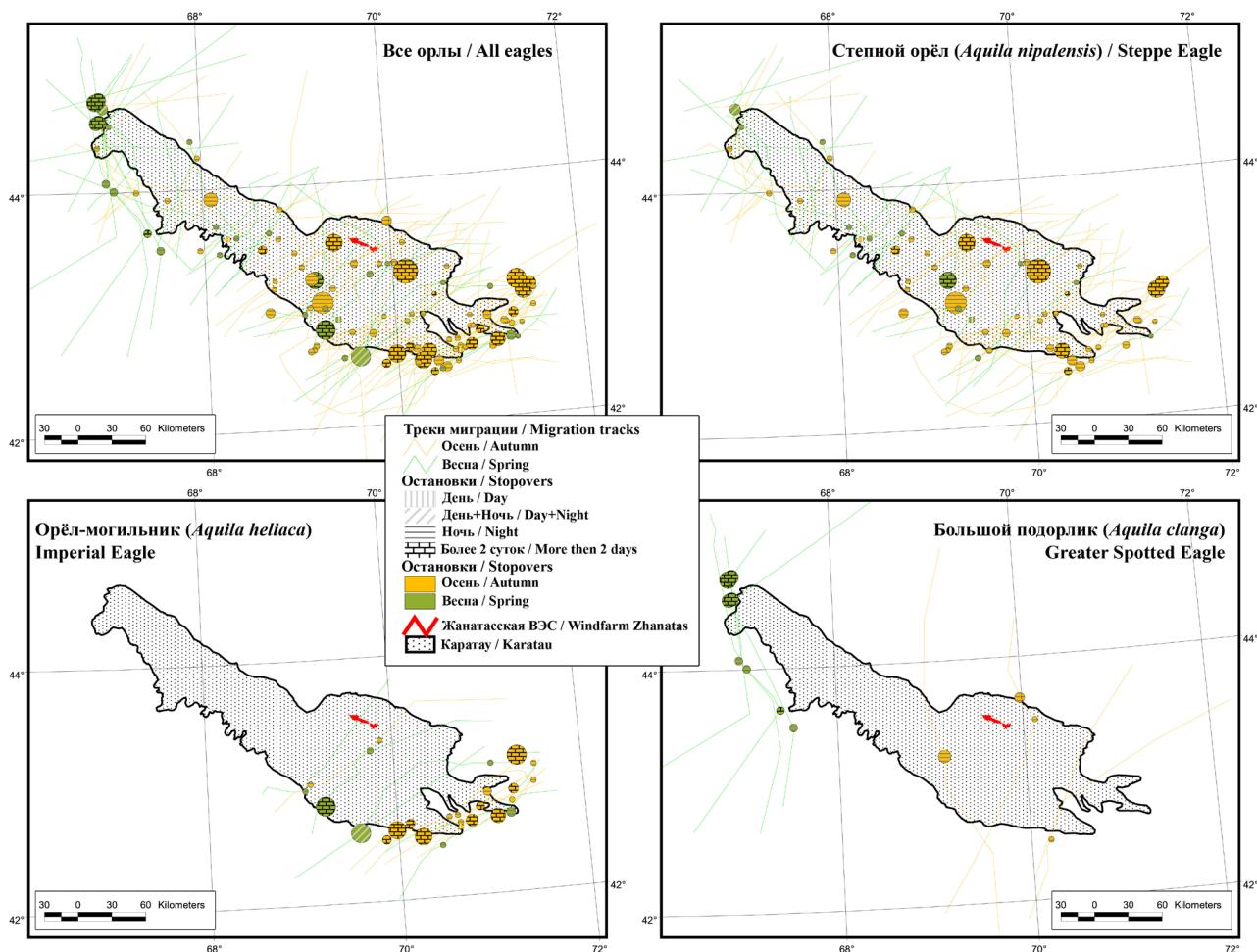


Рис. 12. Карта миграций орлов через Карагатай и остановок во время миграции на Карагатай и в 15-км зоне вокруг него.

Fig. 12. Map of eagle migrations through Karatau and stops during migration at Karatau and in the 15-km zone around it.

как ночных, так и многодневными, на хребте и по его периферии, особенно на юго-восточном шлейфе (рис. 12).

Параметры миграции орлов через Карагатай

Во время осеннеї миграции большинство орлов пересекает Карагатай в юго-западном направлении (рис. 13, табл. 5). В диапазоне 180–315° находится 81,35% часовых сегментов треков птиц, пересекающих Карагатай ($n=311$). Орлы-могильники ($n=55$) на осеннем пролёте двигаются преимущественно в направлении от 225 до 285° (67,27%), степные орлы ($n=244$) в более широком диапазоне – от 195 до 315° (78,69%), большие подорлики ($n=13$) наоборот, в более узком диапазоне – от 180 до 225° (53,85%), что, впрочем, может быть связано с недостатком данных. В диапазоне направлений от 180 до 315° лежит 51,72% сегментов треков орлов в западной части Карагатай (15 из 29) и 83,14% – в восточной (217 из 261). В то же время через центральную часть Карагатая орлы проходят преимущественно в направлении 240–270° – 60,87% сегментов треков (14 из 23). Какой-либо значимой разницы в направ-

the observed eagles. Therefore, additional instrumental research is required to determine the real difference in flight altitude of Greater Spotted Eagles and eagles of other species. In their absence, we consider the flight altitude of Greater Spotted Eagles as similar to that of other eagles.

Visual observations and tracker data indicate that average eagle flight altitude vary reliably differ ($T=2.5$, $Z=6.25$, $p=0.0000$), primarily 21.66% of eagle locations marked by trackers lie in the altitude range above 400 m above the ground, i.e. outside the high-altitude visual observation zone. We combine the data considering this difference, assuming that about 10% of eagles do not fall into the combined sample, in which the flight altitude of eagles migrating through Karatau varies from 50 to 771 m, averaging at ($n=435$) 262.1 ± 127.04 m (53.79% of birds fly in the altitude range of 150–305 m).

Analysis of eagle movements on the DEM shows that the flight altitude of birds depends on the landscape features of the area they pass in Karatau: the elevation above sea level and the heat capacity of the slopes over which thermals are formed. In particular, it is worth noting that eagles avoid the Karatau area south of Lake Bilikol, despite a significant flow of birds through the Chokpak (fig. 17).

In the Karatau, eagles pass the height range from 87 (at the foot of the ridge) to 998 m (in the axial part of the ridge) above sea level, averaging ($n=524$) 444.16 ± 289.49 m. The above sea level averaged 666.4 ± 190.53 m (lim 238–991 m) for 217 locations with a flight altitude determined by the tracker. No reliable correlation was found between the eagles' flight altitude above the ground and altitude above sea level ($r=0.4$). Nevertheless, flights at low altitudes at the foot of the ridge and the increase in maximum flight altitude at higher altitudes our attention (fig. 18). For example, the birds' flight height does not exceed 350 m at altitude up to 500 m above sea level. Eagles only rise to a height of more than 400 m above the earth's surface at 600 m above sea level. Flight height of more than

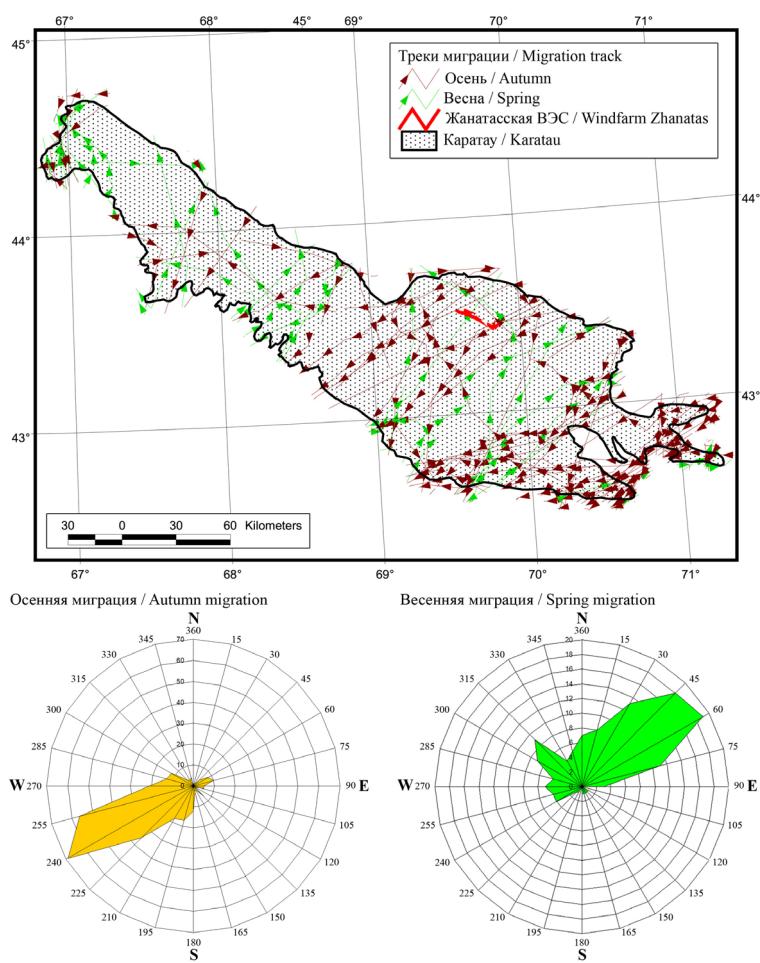


Рис. 13. Направления перемещений орлов во время весенней и осеннеї миграций через Карагатай.

Fig. 13. Direction of eagle movements during spring and autumn migrations through Karatau.

Табл. 5. Направления перемещений орлов (в градусах) во время весенней и осенней миграций через Карагатай. Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), W – западная часть Карагатай, C – центральная часть Карагатай, E – восточная часть Карагатай.

Table 5. Direction of eagle movements (in degrees) during spring and autumn migrations through Karatau. Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), W – Western Karatau, C – Central Karatau, E – Eastern Karatau.

Азимут Azimuth	Осенняя миграция / Autumn migration						Весенняя миграция / Spring migration					
	Вид / Species			Часть Карагатай Part of Karatau			Вид / Species			Часть Карагатай Part of Karatau		
	AH (n=55)	AN (n=244)	ACL (n=13)	W (n=29)	C (n=23)	E (n=261)	AH (n=33)	AN (n=88)	ACL (n=7)	W (n=39)	C (n=24)	E (n=66)
1–15								7			3	
16–30		1		1				3	5		1	1
31–45		1				1	2	11			4	3
46–60	1	4		1			4	6	12		1	6
61–75	4	4				8	11	7	1	1	2	16
76–90	4	6		3			7	6	5		2	
91–105		5		1	1		3	2	1		1	
106–120	1	4		2			4					2
121–135			1				1		1		1	
136–150	1	4	2	2				5		1		1
151–165		1	1		1		1				1	
166–180		3		2			1			1	1	
181–195	1	9	2		2	10			1			1
196–210	2	12	3	4	1	12						
211–225	1	15	2	2	1	15			1			1
226–240	8	26	1	1	1	33			1			1
241–255	14	54	1	2	10	57	1	3			2	2
256–270	12	44		1	4	51		4			2	2
271–285	3	18		2	1	18	1	4		3		2
286–300	1	12		1	1	11		4		2	1	1
301–315	1	11		2		10			6	1	4	3
316–330	1	3		1			3	1	6	2	7	1
331–345		3						3		4	2	1
346–360		4		1		3			3	2	5	1

лениях перемещений между видами орлов не выявлено, хотя она и была достоверной между орлами-могильниками и степными орлами ($T=493$, $Z=2,32$, $p=0,02$) и между степными орлами и большими подорликами ($T=14$, $Z=2,2$, $p=0,03$). При этом разница была достоверной между направлениями перемещений орлов на осеннем пролёте в восточном и центральном Карагатай ($T=0$, $Z=4,2$, $p=0,000$), в западном и центральном Карагатай ($T=0$, $Z=4,2$, $p=0,000$) и в западном и восточном Карагатай ($T=0$, $Z=3,0$, $p=0,000$).

На весеннеей миграции основное направление перемещений орлов через Карагатай – северо-восточное, но уже заметной является доля птиц, летящих на северо-запад, преимущественно через западную часть Карагатай (рис. 13, табл. 5). В диапазоне

600 m was only noted for birds crossing the ridge at points with an altitude of more than 700 m above sea level (fig. 18, lower graph). Temperature and wind may be the factors determining the climb to maximum altitude. Eagles prefer to use thermals in sunny weather with light winds, and they soar in bad weather with strong winds, sometimes flying along the axial part of the ridge on small segments of the route.

The wind speed determined for 477 locations of Steppe Eagles in track segments with bird movement speeds of more than 5 km/h (including segments on the approach to the Karatau, see fig. 19) varied from 0 (complete calm) to 70 km/h, amounting to the average of 11.88 ± 8.30 km/h. For fall migration locations, wind speed varied in the range from 0 to 70 km/h, averaging ($n=343$)

1–90° находится 59,38% часовых сегментов треков птиц, пересекающих Карагатай ($n=128$), а в диапазоне 241–360° – 32,81%. Орлы-могильники ($n=33$) на весеннем пролёте двигаются преимущественно в направлении от 16 до 105° (90,91%), большие подорлики ($n=7$) – в диапазоне от 300 до 360° (71,43%). А вот среди степных орлов ($n=88$) 53,41% птиц перемещается в диапазоне направлений от 15 до 90° и 31,82% – от 255 до 345°. В западной части Карагатай 58,97% сегментов треков орлов (23 из 39) лежат в направлении между 270 и 360°, в восточной части – 78,79% (52 из 66) – в направлении между 1 и 90°. В центральной части Карагатай в диапазоне направлений от 30 до 75° проходит 48,53% сегментов треков орлов (11 из 24). Разница в направлениях движения достоверна между орлами-могильниками и степными орлами ($T=106$, $Z=3,12$, $p=0,002$) и орлами-могильниками и большими подорликами ($T=0$, $Z=2,37$, $p=0,02$), но не достоверна между степными орлами и большими подорликами ($T=6$, $Z=1,35$, $p=0,2$). Также обнаружена значительная достоверная разница в направлении весенних перемещений орлов в восточной и в западной частях Карагатай ($T=107,5$, $Z=3,81$, $p=0,000$), и незначительная – в восточной и центральной частях Карагатай ($T=74$, $Z=2,17$, $p=0,03$).

Отдельные птицы совершают перемещения вдоль осевой части хребта, как осенью, так и весной (см. рис. 12), однако доля таких перемещений не превышает 14,29% (10 проходов из 70).

Скорость орлов на миграции складывается из чередования скольжения и подъёмов в термиках. При преодолении горных препятствий орлы летят гораздо медленнее, чем по равнине, так как вынуждены регулярно набирать высоту. На снижение средней скорости миграции также существенно влияют остановки птиц в горах во время их пересечения. Даже если исключить перемещения птиц на остановках, а также сегменты треков со скоростью ниже 5 км/ч, остаётся целый пул сегментов треков перед остановками и после них, когда птицы вынуждены медленно снижаться или же наоборот, подниматься с земли и набирать высоту. Эти моменты оказывают влияние на снижение показателей средней скорости миграции, но отфильтровать их при частоте взятия локаций раз в 30 мин – 1 час не представляется возможным.

Скорость перемещения мигрирующих орлов через Карагатай варьирует в широких пределах от 5 до 90,1 км/ч, состав-

11.31 ± 8.56 км/ч; for spring migration – from 3 to 48 км/ч, averaging ($n=134$) 13.31 ± 7.46 км/ч. I.e., in spring birds flew on average with a reliably higher wind speed than in fall ($T=0$, $Z=10.04$, $p=0.0000$). The wind speed at the locations of female Steppe Eagles ($n=141$, 13.55 ± 9.75 км/ч, lim 0–70 км/ч) was also higher on average ($T=0$, $Z=10.23$, $p=0.0000$) than at the locations of males ($n=336$, 11.17 ± 7.52 км/ч, 0–43 км/ч), and the difference remained the same both in fall (females: $n=78$, on average 12.68 ± 10.39 км/ч, lim 0–70 км/ч, males: $n=265$, on average 10.91 ± 7.92 км/ч, lim 0–43 км/ч, $T=0$, $Z=7.57$, $p=0.0000$), and in spring (females: $n=63$, on average 14.63 ± 8.85 км/ч, lim 3–48 км/ч, males: $n=71$, on average 12.4 ± 5.77 км/ч, lim 4–34 км/ч, $T=0$, $Z=7.32$, $p=0.0000$) – see fig. 20.

Only 2 female and 2 male Steppe Eagles moved in windless periods and only during fall migration.

Only 4 birds flew in a strong wind (more than 38 км/ч), and in 2 cases it was the female Tes who had completed transit through Karatau during the fall migration in 2019 and 2021. On October 7, 2021, it took her three hours without stopping to cross Karatau. She started to move in the front folds of the northern macroslope of Karatau at a wind speed of 32 км/ч. Kenzhyk flew along the southern slope of Karatau as well during the fall migration on September 2, 2018, with a wind speed of 43 км/ч. Sarygul made another pass in strong wind near the northwestern tip of Karatau during the return on spring migration on March 13, 2021. Having started to move from Betpak-Dala at a wind speed of 34 км/ч, she passed Karatau in 3 hours, moving at a speed of 60 км/ч downwind at a wind speed of 48 км/ч.

It was noted that Steppe Eagles moved with wind speeds ranging from 24 to 38 км/ч in 43 cases out of 477 (9%). 38 of them were situated along the southern macroslope of Karatau, and only 4 were confined to the plain at the foot of the northern macroslope and 1 to the southeastern edge of Karatau west of Chokpak (fig. 19).

Most eagles' locations are taken at points with wind speeds ranging from 5 to 20 км/ч, and this range is apparently the most optimal during migration. No reliable correlation between the speed of eagles' movement and wind speed has been noted, precisely because most eagles fly at low wind speeds. Obviously, eagle flight speed also increases significantly at high wind speeds, but they prefer to wait out strong winds on the ground when passing

ляя в среднем ($n=548$) 24.84 ± 15.35 км/ч. Причём на весеннеей миграции орлы летят определённо быстрее (от 5,20 до 90,1 км/ч, в среднем 27.77 ± 17.22 км/ч, $n=180$), чем на осенней (от 5,0 до 78,69 км/ч, в среднем 23.4 ± 14.15 км/ч, $n=368$) при достоверной разнице ($T=1271$, $Z=9.82$, $p=0.0000$).

Между видами также имеются различия в скорости миграции. Так, более крупные орлы-могильники через Карагатай летят со скоростью 5,51–74,77 км/ч, в среднем ($n=112$) 18.24 ± 11.49 км/ч, в то время как средняя скорость перемещения более мелких степных орлов достоверно выше ($T=526$, $Z=7.66$, $p=0.0000$) и составляет ($n=397$) 26.41 ± 15.74 км/ч (от 5,0 до 90,1 км/ч). Наиболее мелкие из рассматриваемой группы видов большие подорлики перемещаются со скоростью от 6,59 до 79,95 км/ч, в среднем ($n=39$) 27.81 ± 16.12 км/ч, что достоверно выше, чем скорость орлов-могильников ($T=18$, $Z=5.19$, $p=0.0000$) и степных орлов ($T=10$, $Z=5.3$, $p=0.0000$).

Разница между скоростями перемещения орлов 3-х видов на осенней и весеннеей миграции показана в табл. 6 и на рис. 14.

Ранее была показана разница в скорости перемещения степных орлов разного пола на миграциях – самки, несмотря на свой более тяжёлый вес, показывали большие скорости, нежели самцы (Карякин и др., 2019e). Во время пролёта через Карагатай самки степных орлов показали также более высокие скорости ($n=119$, в среднем 28.62 ± 17.56 км/ч, lim 5,23–90,1 км/ч), чем самцы ($n=278$, в среднем 25.46 ± 14.82 км/ч, lim 5,0–77,5 км/ч, $T=487$, $Z=8.18$, $p=0.0000$), причём как осенью (самки: $n=70$, в среднем 26.08 ± 15.97 км/ч, lim 5,92–78,69 км/ч, самцы: $n=220$, в среднем 25.0 ± 14.02 км/ч, lim 5,0–77,5 км/ч, $T=0$, $Z=7.27$, $p=0.0000$), так и весной (самки:

mountain obstacles and mainly fly above the plains at a wind speed of more than 20 km/h.

Analysis of eagle movement relative to wind direction showed that in 53.46% of 477 cases, eagles moved with a fair wind and a fair/flank wind (range from 0 to 60°), 26.61% – with a flank wind (61–120°), and 20.34% – with a head wind and head/flank wind (121–180°) (fig. 19). Moreover, only 7 locations (7.22%) out of 97 with movement during a head wind were confined to the front folds of the northern slope of Karatau, and the majority of such locations (87.63%) are confined to the southern slope and southeastern tip of Karatau. The same could be said about eagle movement in a flank wind: only 16 locations (18.8%) out of 125 were concentrated along the northern slope and northern foothills, and the rest lay either along the southern periphery of the ridge or in its center. In at least half of the cases when the eagles moved with a flank wind, they began to move with a fair wind, and only after crossing the Karatau (usually from northwest to southeast) did they move with a flank wind.

In general, the angle between wind direction and the eagle movement varied from 0 to 179° for both migration periods, averaging ($n=477$) 67.16 ± 51.89 ° (fig. 20, 21), and in the fall ($n=343$, 65.62 ± 53.68 °, lim 0–179°), it was on average reliably narrower than in spring ($n=134$, 71.11 ± 46.96 °, lim 1–177°; $T=0$, $Z=10.04$, $p=0.0000$). In females ($n=141$, 60.39 ± 47.69 °, lim 1–179°) it also turned out to be narrower than in males ($n=336$, 69.9 ± 53.38 °, lim 0–179°; $T=0$, $Z=10.27$, $p=0.0000$) – heavier females preferred to fly with the wind, more accurately following its direction than lighter males (fig. 20).

Factor analysis showed that there is no differentiation in groups of females and males

Табл. 6. Скорости перемещения орлов на миграциях при пересечении ими Карагатая. Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), AUT – осенняя миграция, SPR – весенняя миграция.

Table 6. Rates of eagle movement on migrations when crossing Karatau. Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), AUT – autumn migration, SPR – spring migration.

Вид Species	Осенняя миграция Autumn migration		Весенняя миграция Spring migration		Критерий Вилкоксона Wilcoxon signed-rank test AUT vs. SPR	Все миграции All migrations	
	<i>n</i>	<i>M±SD (lim)</i>	<i>n</i>	<i>M±SD (lim)</i>		<i>n</i>	<i>M±SD (lim)</i>
ACL	19	27.05 ± 9.86 (6.59–41.59)	20	28.54 ± 20.65 (6.7–79.95)	$T=58$, $Z=1.49$, $p=0.14$	39	27.81 ± 16.12 (6.59–79.95)
AN	290	25.26 ± 14.49 (5.0–78.69)	107	29.51 ± 18.43 (5.2–90.1)	$T=5.0$, $Z=8.96$, $p=0.0000$	397	26.41 ± 15.74 (5.0–90.1)
AH	59	13.1 ± 7.76 (5.51–41.3)	53	23.96 ± 12.31 (6.31–74.77)	$T=0$, $Z=6.33$, $p=0.0000$	112	18.24 ± 11.49 (5.51–74.77)
Среднее Average	368	23.4 ± 14.15 (5.0–78.69)	180	27.77 ± 17.22 (5.2–90.1)	$T=1271$, $Z=9.82$, $p=0.0000$	548	24.84 ± 15.35 (5.0–90.1)

$n=49$, в среднем $32,25 \pm 19,21$ км/ч, $lim\ 5,23-90,1$ км/ч, самцы: $n=58$, в среднем $27,2 \pm 17,57$ км/ч, $lim\ 5,2-74,36$ км/ч, $T=25$, $Z=5,77$, $p=0,0000$) (рис. 14). Можно ожидать, что и у орлов-могильников и больших подорликов скорости самок на миграциях выше, чем скорости самцов, однако для этих видов не хватает данных, чтобы проверить данную гипотезу.

Какой-либо существенной разницы в скоростях перемещения орлов от орографии или направления движения не выявлено. Максимальные скорости характерны для птиц, пересекающих осевую часть Карагатай или летящих вдоль его западной оконечности без остановок (рис. 15). На скорость перемещения более существенное влияние оказывают направление и сила ветра, которые сильно варьируют от сезона к сезону.

Высота полёта орлов над Карагатай по GPS-данным трекеров ($n=217$) определена в диапазоне от 52 до 771 м, составив в среднем $286,61 \pm 156,4$ м (медиана 254 м, асимметрия 0,78) (рис. 16). В осенний период орлы пересекали Карагатай в среднем на меньших высотах (52–730 м, в среднем $281,24 \pm 152,47$ м, $n=156$) нежели весной (54–771 м, в среднем $300,36 \pm 166,56$ м, $n=61$; $T=0$, $Z=6,28$, $p=0,0000$).

По визуальным наблюдениям ($n=219$) высота полёта орлов над Карагатай варьировала от 50 до 400 м, составив в среднем $237,71 \pm 82,03$ м (медиана 230 м, асимметрия -0,07) (рис. 16). Отрицательная асимметрия выборки, возможно, связана с двумя разными периодами наблюдений и ландшафтными характеристиками точек наблюдения, но она незначительна и ею можно пренебречь в интерпретации данных, учитывая то, что основная масса наблюдений лежит внутри диапазона показателей высоты полёта птиц, помеченных трекерами. Отсутствие визуальных наблюдений орлов на высотах выше 400 м свидетельствует лишь о сложности интерпретации высоты полёта птиц в диапазоне от 400 до 1000 м, хотя птицы на этих высотах летят, но в небольшом количестве.

По визуальным наблюдениям высота полёта подорликов была выше, чем степных орлов и орлов-могильников, варьируя от 80 до 400 м, составив в среднем ($n=17$) $295,59 \pm 103,24$ м. Однако, данных явно не достаточно, так как подорлики составили лишь 7,76% от наблюдавшихся орлов. Поэтому для определения реальной разницы в высоте полёта подорликов и орлов других видов требуются дополнительные инстру-

during fall and spring migrations according to a complex of parameters as elevation above sea level, wind speed and direction, azimuth of bird movement, speed, and angle of movement relative to wind direction (fig. 22-A).

Regression analysis does not really explain the correlation between eagle movement speed (of both sexes) and parameters of wind speed and above sea level both fall flight ($R^2=0.10$, $F(5.337)=8.62$, $p<0.00000$, $SE=14.28$) and during the spring one ($R^2=0.19$, $F(5.128)=7.16$, $p<0.00001$, $SE=16.27$). However, it explains the correlation between the angle of birds' movement and wind direction, but only for the fall migration ($R^2=0.42$, $F(5.337)=51.39$, $p<0.0000$, $SE=40.73$) (fig. 22-B, C)

Timing of fall and spring eagle migrations through Karatau

Dates of tracked eagle migration through Karatau are shown in table 7 and fig. 23.

Greater Spotted Eagle Klangush migrated through Karatau in the fall in a fairly narrow period of time, September 27 – October 2, while spring migration dates shifted earlier each year, from April 19–20 in 2015 to March 25–28 in 2018.

Fall Eastern Imperial Eagle migration lasted from October 17 to November 28, moreover, first-year birds transited Karatau before November 4, migrating later in subsequent years, on November 2–28. First-year birds spring migration happened in a fairly narrow time period of April 5–12 unrelated to the distance between wintering sites and Karatau (Anuika and Oroscha migrated from the lower reaches of Indus in Pakistan; Kanochka migrated from Uzbekistan). Oroscha chose a dump site at the outskirts of Shymkent as a wintering area and in following years migrated through Karatau on February 23 – March 6, possibly marking the start of migration of sub-adult and adult birds coming back from cold wintering sites.

In fall Steppe Eagles migrated through Karatau from August 5 to November 12 in two pronounced waves, as shown before (Karyakin *et al.*, 2019e). Migration of Central Kazakhstan populations (as well as Western and Southeastern Kazakhstan populations) and 2–3 year-old birds from the Altai-Sayan region (summering in Western and Central Kazakhstan) occurred August 5 – September 7. At the same time, first-year birds from Altai-Sayan migrated through Karatau on October 6 – November 14 ($n=13$, on average October 29 ± 10 days). Sub-adult (2–4 year-old)

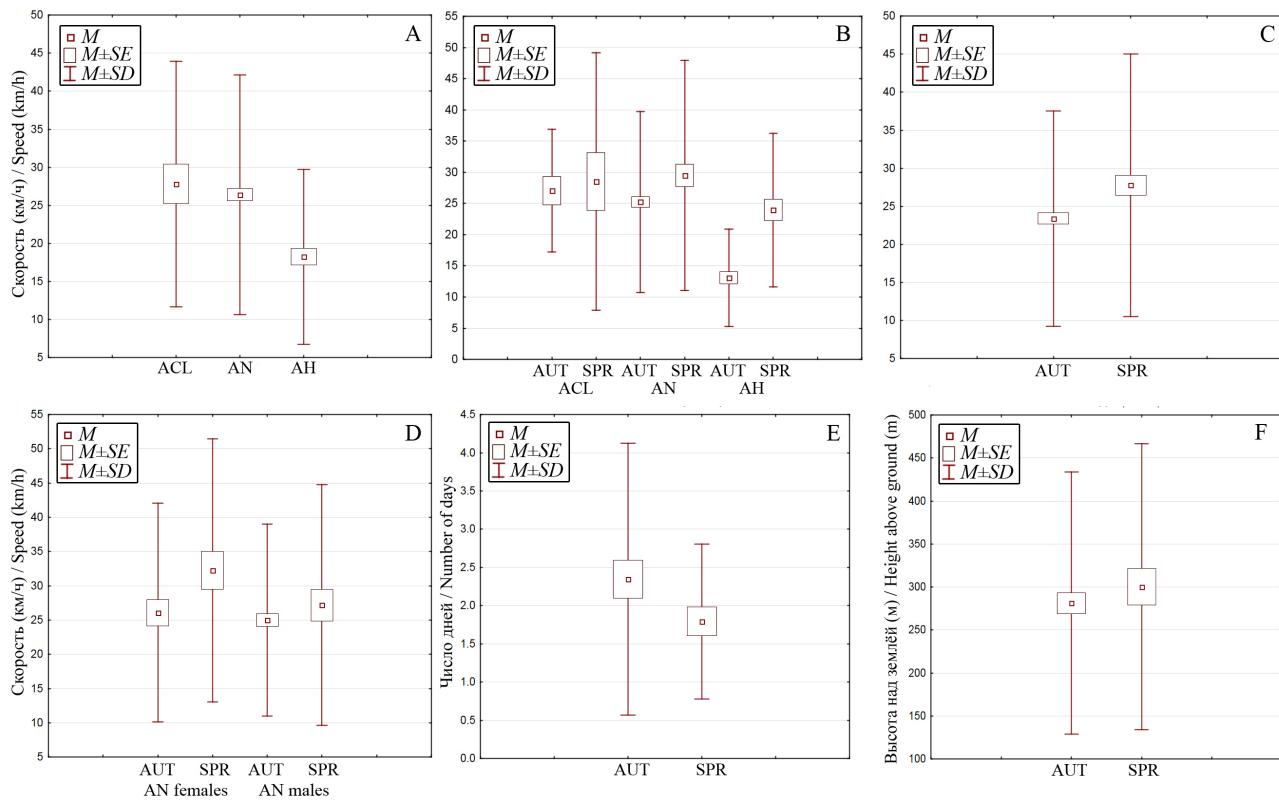


Рис. 14. Диаграммы размаха скорости перемещения орлов на миграциях при пересечении ими Карагатай (A–D), продолжительности миграции через Карагатай (E) и высотного диапазона, в котором орлы мигрируют над Карагатай (F). Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), AUT – осенняя миграция, SPR – весенняя миграция.

Fig. 14. Diagrams of the speed range of eagle movements on migrations when crossing Karatau (A–D), duration of migration through Karatau (E), and the altitude range in which eagles migrate over Karatau (F). Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), AUT – autumn migration, SPR – spring migration.

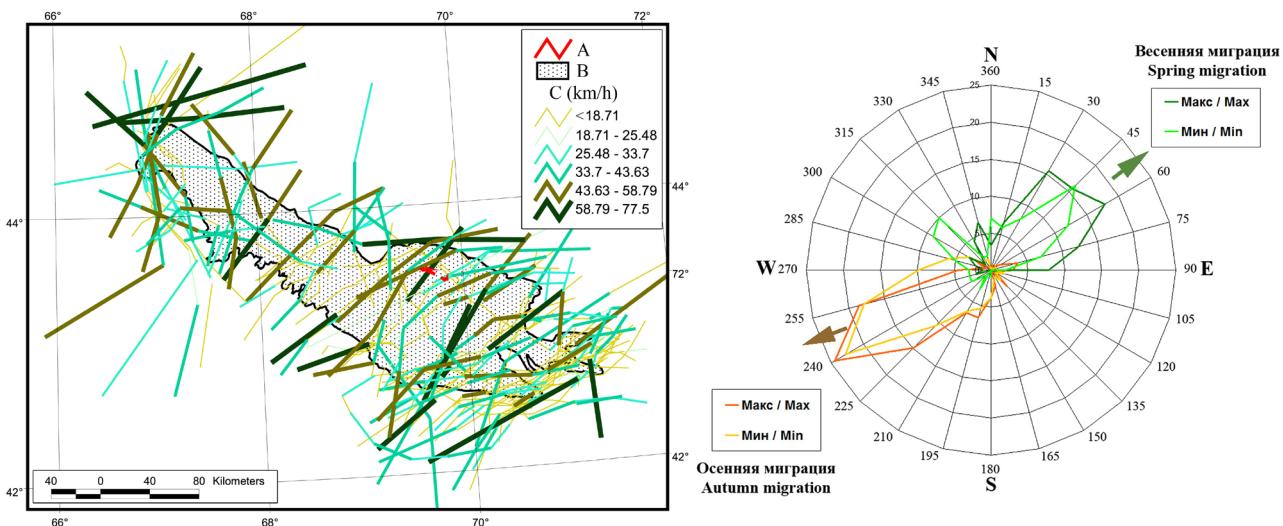


Рис. 15. Слева – карта с сегментами треков орлов на миграциях через Карагатай. Сегменты треков ранжированы по скорости перемещения птиц (км/ч); справа – диаграмма азимута перемещений орлов на весенней и осенней миграциях в группах со скоростью ниже средней (мин) и выше средней (макс). В диаграмме отображаются доли (%) от числа сегментов треков в каждой группе: группа сегментов со скоростями выше средней на осенней миграции – n=135, ниже средней на осенней миграции – n=264, выше средней на весенней миграции – n=90, ниже средней на весенней миграции – n=100. Принятые сокращения: А – Жанатасская ВЭС, В – хребет Карагатай, С – сегменты треков орлов, ранжированные по скорости в км/ч.

Fig. 15. On the left – a map with segments of eagle tracks on migrations through Karatau. Track segments are ranged by speed of bird movement (km/h); on the right – a diagram of the azimuth of eagle movements on spring and autumn migrations in groups with below average (min) and above average (max) speeds. The diagram shows the percentage (%) of track segments in each group: group of segments with speeds above average on autumn migration – n=135, below average on autumn migration – n=264, above average on spring migration – n=90, below average on spring migration – n=100. Legend: A – Zhanatas WPP, B – Karatau Ridge, C – segments of eagle tracks ranged by speed in km/h.

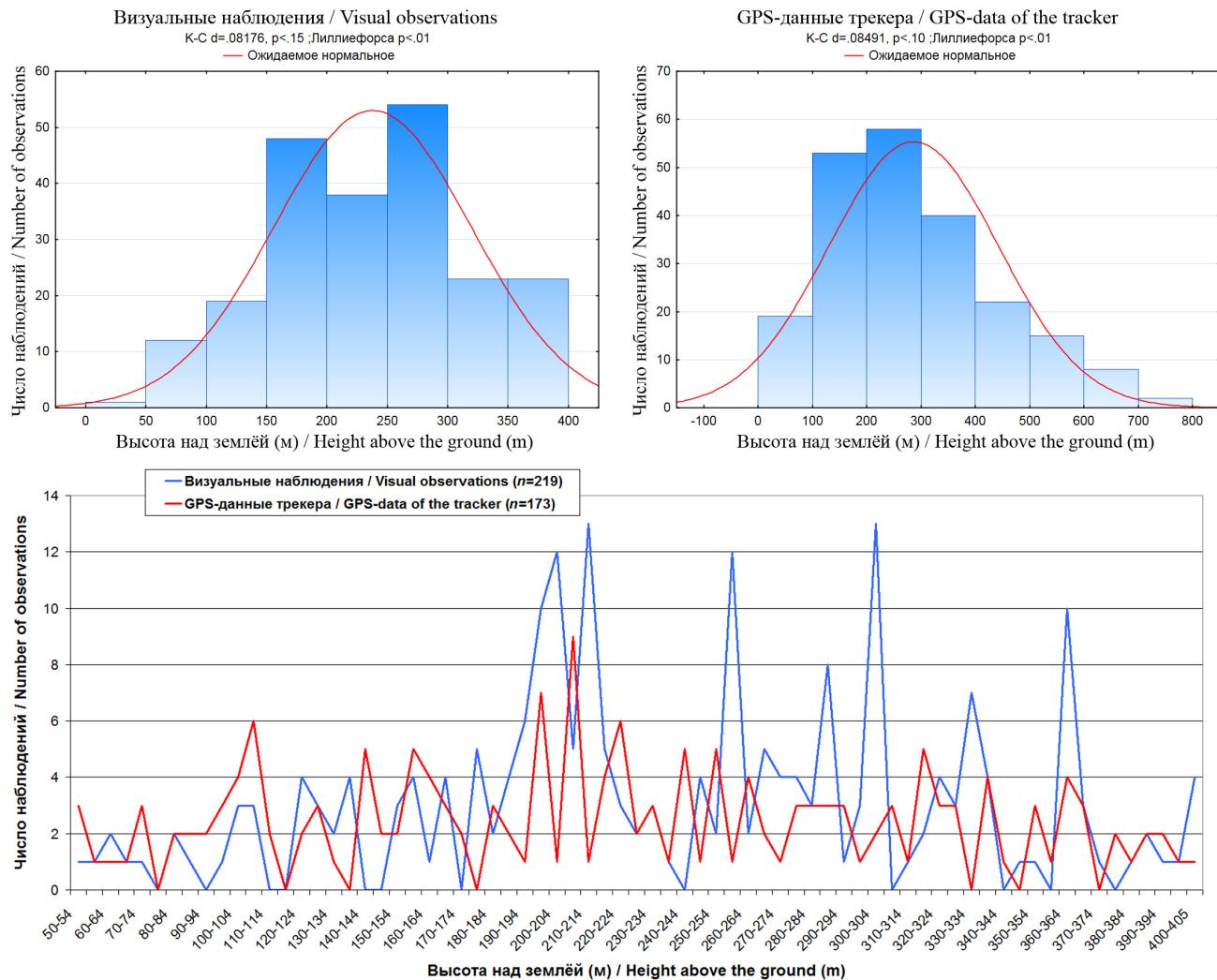


Рис. 16. Гистограммы высоты перемещения орлов на миграциях при пересечении ими Карагату по визуальным наблюдениям (вверху слева) и по GPS-данным трекеров (вверху справа). Объединённый график высот перемещения орлов (внизу).

Fig. 16. Histograms of altitudes of eagle movements on migrations when crossing Karatau based on visual observations (upper left) and GPS-tracker data (upper right). Combined graph of eagle movement heights (bottom).

ментальные исследования. Пока их нет, мы считаем, что высота полёта подорликов была аналогична таковой других орлов.

Средние показатели высоты полёта птиц по визуальным наблюдениям и данным трекеров достоверно отличаются ($T=2,5$, $Z=6,25$, $p=0,0000$), в первую очередь за счёт того, что 21,66% локаций орлов, помеченных трекерами, лежит в высотном диапазоне выше 400 м над землёй, т.е. за пределами высотной зоны визуальных наблюдений. Мы объединяем данные с учётом этой разницы, полагая, что около 10% орлов не попадают в объединённую выборку, в которой высота полёта орлов, мигрирующих через Карагату, варьирует от 50 до 771 м, составляя в среднем ($n=435$) $262,1 \pm 127,04$ м (53,79% птиц летят в высотном диапазоне 150–305 м).

Анализ перемещений орлов на ЦМР показывает, что высота полёта птиц зависит

eagles from Altai-Sayan region that spent the summer in the natal region migrated through Karatau on October 12 – November 3, i.e. at the same time as first-year birds. In the spring Steppe Eagles migrated through Karatau on March 9 – May 9, and most birds moved from March 13 to April 11 (fig. 23).

During fall migration every eagle crossed Karatau in 1–10 days on average ($n=52$) 2.3 ± 1.8 days, while during the spring migration it took 1–4 days, on average ($n=29$) 1.8 ± 1.0 days (fig. 14). And while Greater Spotted Eagles and Eastern Imperial Eagles showed no significant difference in the duration of crossing Karatau during the fall and spring migrations (both species usually transited Karatau in 2 days), Steppe Eagles passed Karatau reliably faster or more quickly in spring than in fall ($T=0$, $Z=2.67$, $p=0.008$), on average ($n=19$) 1.5 ± 0.9 days against ($n=34$) 2.5 ± 2.0 .

от ландшафтных особенностей преодолеваемого в Карагатай участка – высоты над уровнем моря и прогреваемости склонов, над которыми формируются термики. В частности, обращает на себя внимание избегание орлами участка Карагатай к югу от оз. Биликоль, несмотря на существенный поток птиц через Чокпак (рис. 17).

Диапазон высот над уровнем моря, преодолеваемых орлами в Карагатай, варьирует от 87 (в подножье хребта) до 998 м (в осевой части хребта), составляя в среднем ($n=524$) $444,16 \pm 289,49$ м. Для 217 локаций с определённой трекером высотой полёта высота над уровнем моря составила в среднем $666,4 \pm 190,53$ м (*lim* 238–991 м). Какой-либо значимой корреляции между высотой полёта орлов над землёй и высотой над уровнем моря не выявлено ($r=0,4$). Тем не менее, обращает на себя внимание полёт на небольших высотах в подножии хребта и увеличение максимальных пока-

We calculate the timing of fall migration through Karatau for all eagle species at 113 days, from August 5 to November 25, the spring migration – at 77 days, from February 22 to May 9. An estimation of the number of migrants at different periods of fall and spring migrations through Karatau is presented in table 8, 9 and in fig. 24.

Possible impact of WPPs on Karatau on migrating eagle populations

Based on data obtained by tracking eagles and visual observations of migrants, 18% of birds that cross Karatau fly at an altitude range that risks death at wind turbines: 50–155 m (here we take into account the correction by 10% of birds that were not included in the joint sample of flight altitude rate, see above). Based on the estimation of migrant numbers, 5,815–7,304 eagles risk collision with WPP while crossing Karatau, on average 4,225 eagles during spring migration. This number might be even higher in reality, because eagles move at flight altitudes below 200 m above ground before rising in thermals over the slopes of Karatau and approach the front folds of the ridge in a “dangerous” altitude range (see the dispersion chart on fig. 18). Thus, the probability of collisions with wind turbines will be highest at the front folds of the northern slope of Karatau during fall migration and on the front folds of the southern slope of Karatau during the spring migration.

Six eagles' migratory tracks out of 69 that crossed Karatau (i.e. 8.7% of tracked migrations through Karatau) transited the Zhanatas WPP that is only 6.34% of the whole length of the Karatau (26.3 km relative to 415 km), 3 of them moved directly near wind turbines (fig. 5). Estimating a similar proportion of passes among all migrants, that amounts to 4,646–5,818 passes and an average 5,180 passes annually. At least 836–1,047 of them, 932 on average, are flying in the dangerous altitude range.

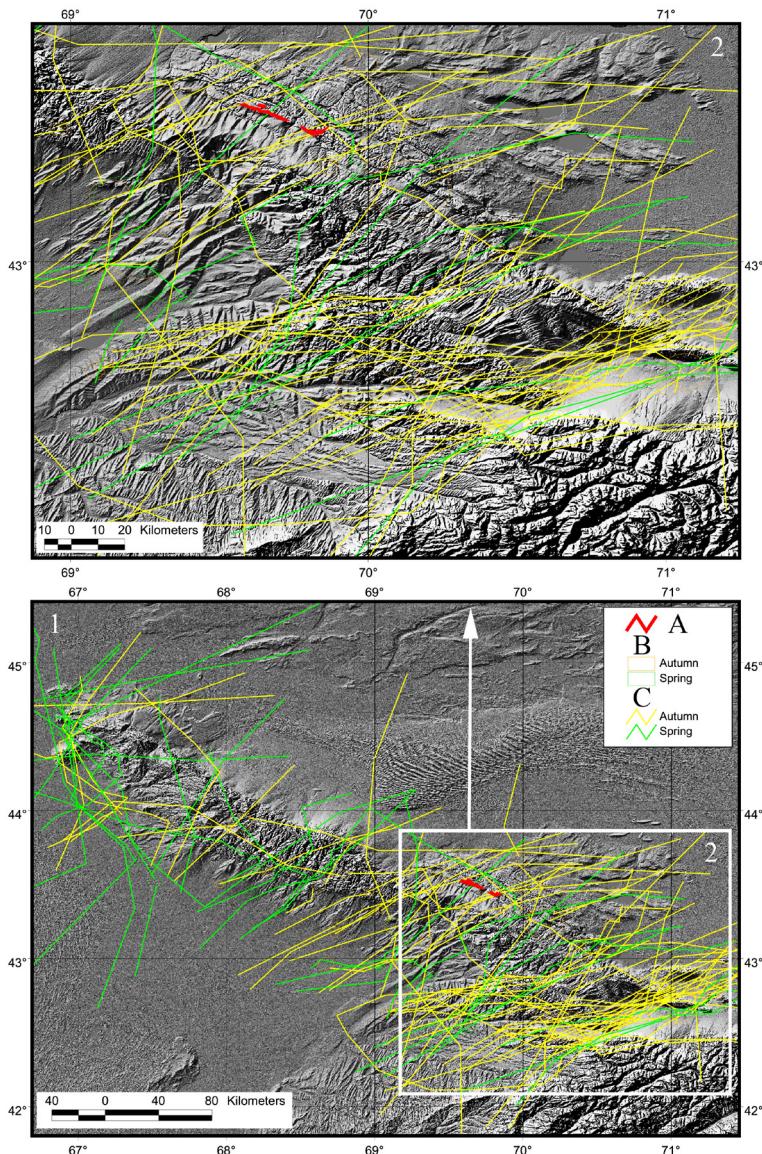


Рис. 17. DEM with segments of eagle tracks on spring and autumn migrations (C) and stopovers during migration (B). Legend: A – Жанатасская ВЭС.

Fig. 17. DEM with segments of eagle tracks on spring and autumn migrations (C) and stopovers during migration (B). Legend: A – Zhanatas WPP.

зателей высоты полёта на больших высотах (рис. 18). Так, например, на высоте над уровнем моря до 500 м высота полёта птиц не превышает 350 м. Только выше 600 м над уровнем моря орлы поднимаются на высоту более 400 м над поверхностью земли. А высота полёта более 600 м отмечена только для птиц, пересекающих хребет в точках с высотами более 700 м над уровнем моря (рис. 18, нижний график). Несмотря на возможность орлов переваливать Карагату на больших высотах, таким манёвром пользуются лишь 23% птиц. Возможно факторами, определяющими набор максимальной высоты, являются температура и ветер. При слабом ветре, но солнечной погоде, орлы предпочитают подниматься в термиках, а при плохой погоде с сильным ветром скользят, иногда на небольших сегментах маршрута пролетая вдоль осевой части хребта.

Скорость ветра, определённая для 477 локаций степных орлов в сегментах треков со скоростями перемещения птиц более 5

To estimate eagle mortality at the Zhanatas WPP properly, we used CRM “Band” (see methods), calculating the probability of collision with turbines for every species separately with WPP’s downtime at an average of 24.2% annually (17.5–33.5% monthly).

For Eastern Imperial Eagles, an average risk of collision while passing the RSZ of one turbine averaged 8.4% in a base model (5.8% – fair wind, 11.0% – head wind) (tables 10, 11), and 8.5% in an extended model using bird flight altitude range with the condition of 18.29% individuals flying at the height of the rotor (fig. 26). Modeling showed that among 1,610–1,723 eagles that potentially pass through the RSZ, 108–117 birds may die as a result of collision with wind turbine blades (table 10).

For Steppe Eagles, an average risk of collision while passing the RSZ of one turbine averaged 7.0% in a base model (5.0% – fair wind, 9.0% – head wind) (tables 10, 12) and 7.3% in an extended model (fig. 26). Modeling showed that among 6,888–7,371 eagles that potentially pass through the RSZ, 377–417 birds may die as a result of collision with wind turbine blades (table 10).

For Greater Spotted Eagles, an average risk of collision while passing the RSZ of one turbine averaged 6.6% in a base model (4.7% – fair wind, 8.6% – head wind) (tables 10, 13), and 6.8% in an extended model (fig. 26). Modeling showed that among 494–528 Greater Spotted Eagles that potentially pass through the RSZ, 26–29 birds may die as a result of collision with wind turbine blades (table 10).

To assess the risk of the collision with turbines of Zhanatas WPP, we calculated α and p (of collision) as the radius function, presented in tables 11–13.

Tables with calculations of the mortality risk of Eastern Imperial Eagles⁵¹, Steppe Eagles⁵², and Greater Spotted Eagles⁵³ at the Zhanatas WPP are available as supplementary material to the article.

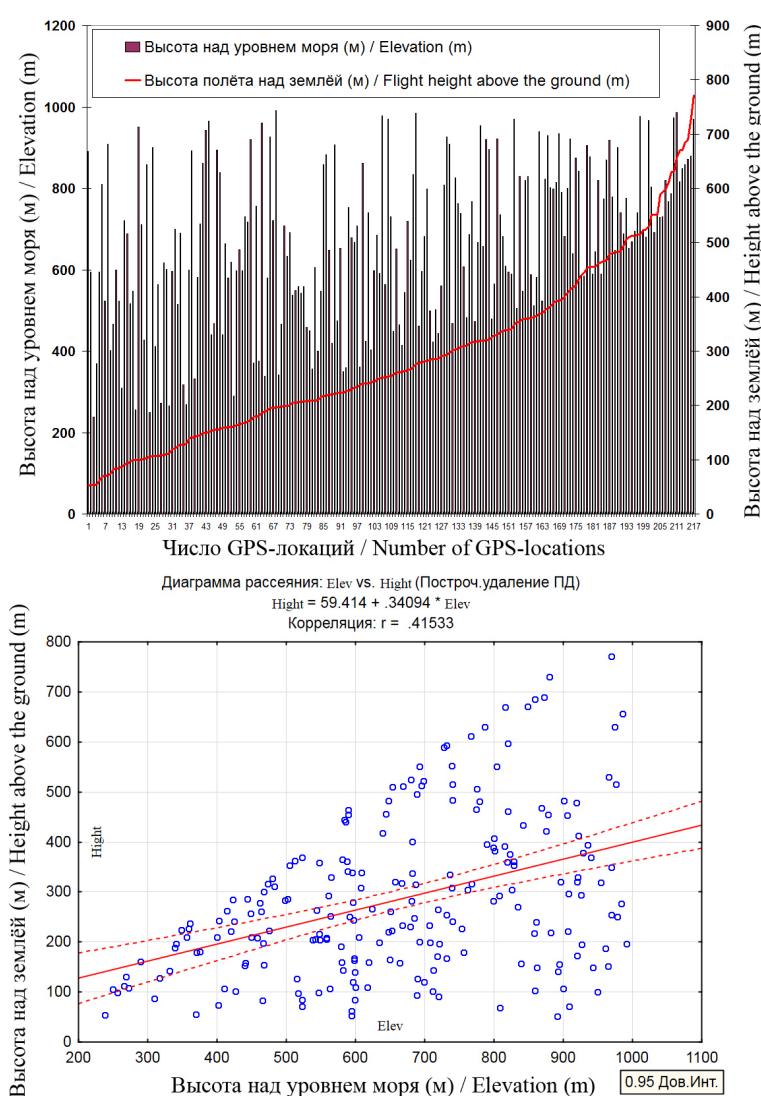


Рис. 18. График (вверху) и диаграмма рассеяния (внизу), показывающие зависимость высоты полёта орлов от высоты над уровнем моря.

Fig. 18. Graph (top) and scatter diagram (bottom) showing the dependence of eagle flight altitude on altitude above sea level.

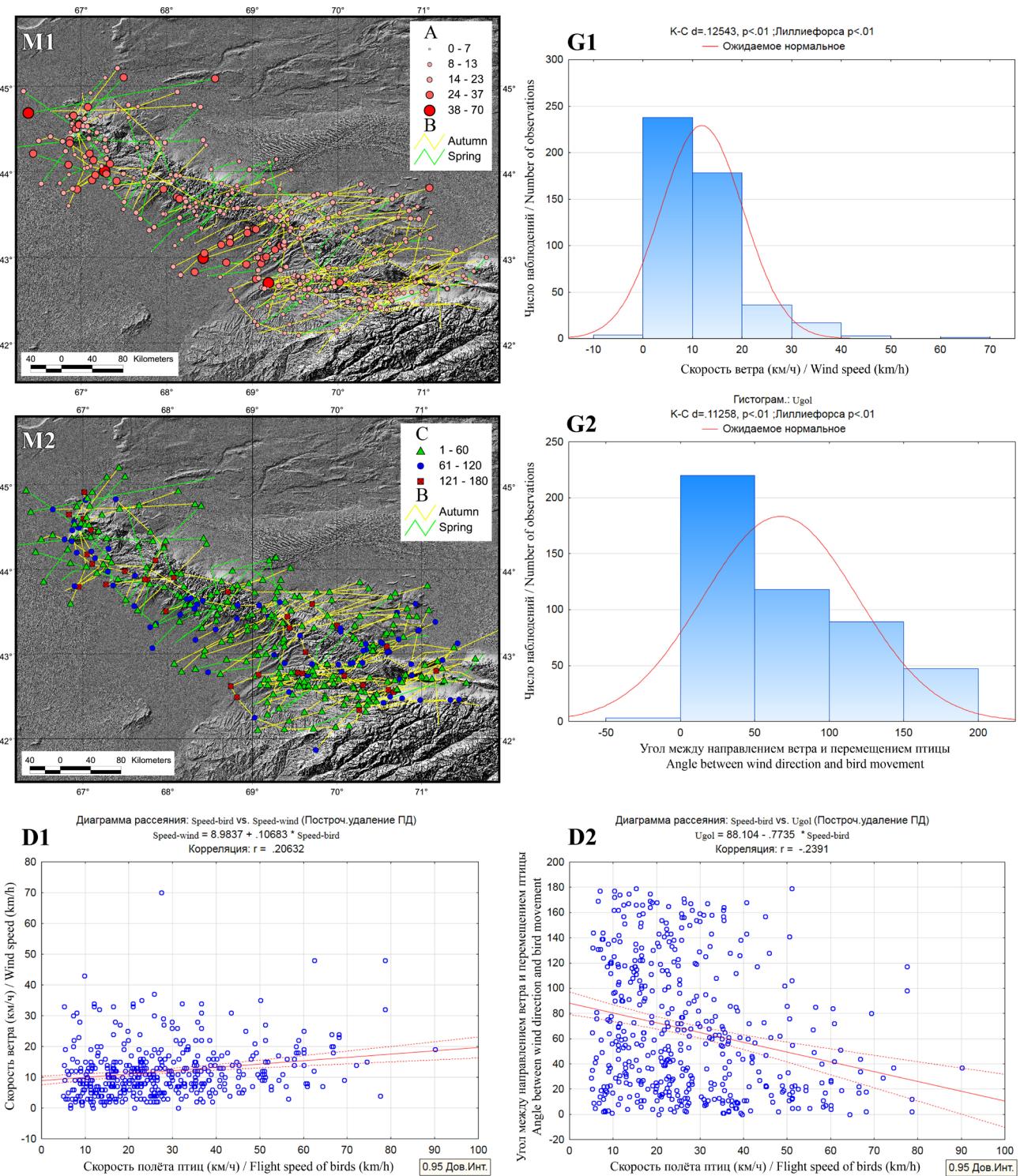


Рис. 19. Локации орлов, ранжированные по скорости ветра (M1) и углу между направлением ветра и движением птицы (M2), на ЦМР и гистограммах (G1 и G2), а также диаграммы рассеяния, показывающие зависимости скорости полёта орлов от скорости ветра (D1) и угла между направлением ветра и движением птицы (D2).

Fig. 19. Locations of eagles ranged by wind speed (M1) and angle between wind direction and bird movement (M2) on DEM and in histograms (G1 and G2), and scatter diagrams showing dependence of eagle flight speed on wind speed (D1) and angle between wind direction and bird movement (D2).

км/ч (включая сегменты на подходе к Карагату, см. рис. 19), варьировала от 0 (полный штиль) до 70 км/ч, составив в среднем 11.88 ± 8.30 км/ч. Для локаций осенней миграции скорость ветра изменялась в диапазоне от 0 до 70 км/ч, составив в среднем

Thus, according to the base model, annual 511–563 deaths of migrating eagles is possible on the Zhanatas WPP based on 13–14 birds by turbine annually without taking into account the share of birds avoiding collision.

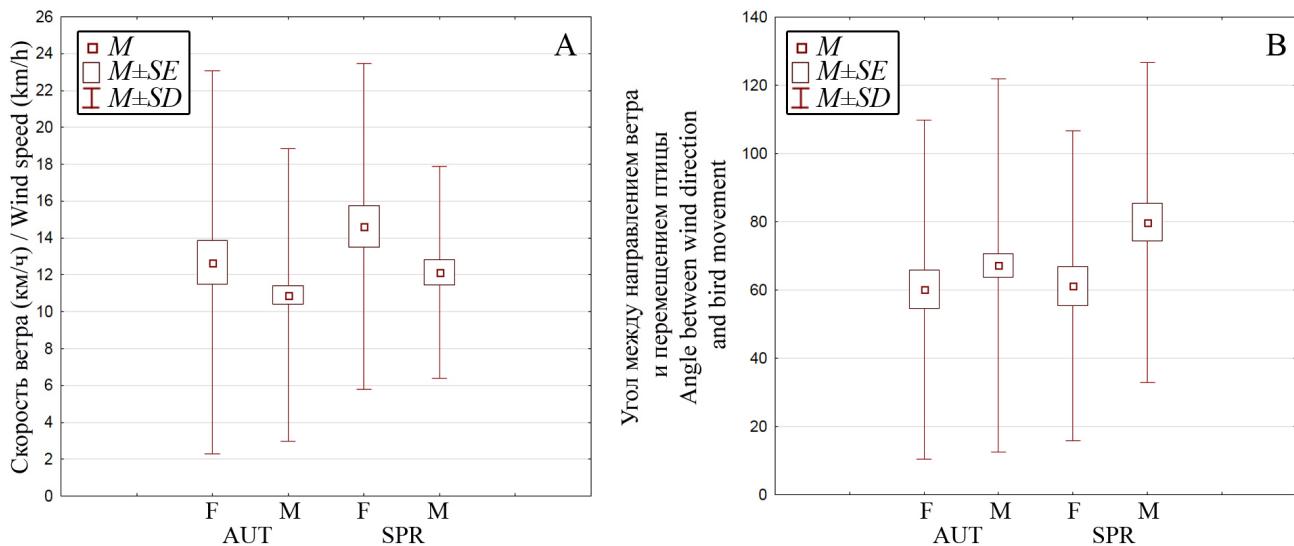


Рис. 20. Диаграммы размаха скорости ветра в точках локаций степных орлов (А) и угла между направлением ветра и направлением движения орлов разного пола на осеннеей и весенней миграциях при пересечении ими Карагату (Б). Принятые сокращения: F – самка, M – самец, AUT – осенняя миграция, SPR – весенняя миграция.

Fig. 20. Diagrams of wind speed range at the location points of Steppe Eagles (A) and the angle between wind direction and movement direction of eagles of different sexes on autumn and spring migrations when crossing Karatau (B). Abbreviations: F – female, M – male, AUT – autumn migration, SPR – spring migration.

($n=343$) $11,31 \pm 8,56$ км/ч, для весенней – от 3 до 48 км/ч, составив в среднем ($n=134$) $13,31 \pm 7,46$ км/ч. Т.е. весной птицы летели в среднем при достоверно большей скорости ветра, нежели осенью ($T=0$, $Z=10,04$, $p=0,0000$). Скорость ветра в локациях самок степных орлов ($n=141$, $13,55 \pm 9,75$ км/ч, lim 0–70 км/ч) также была в среднем выше ($T=0$, $Z=10,23$, $p=0,0000$), чем в локациях самцов ($n=336$, $11,17 \pm 7,52$ км/ч, 0–43 км/ч), причём разница сохранялась как осенью (самки: $n=78$, в среднем $12,68 \pm 10,39$ км/ч, lim 0–70 км/ч, самцы: $n=265$, в среднем $10,91 \pm 7,92$ км/ч, lim 0–43 км/ч, $T=0$, $Z=7,57$, $p=0,0000$), так и весной (самки: $n=63$, в среднем $14,63 \pm 8,85$ км/ч, lim 3–48 км/ч, самцы: $n=71$, в среднем $12,14 \pm 5,77$ км/ч, lim 4–34 км/ч, $T=0$, $Z=7,32$, $p=0,0000$) – см. рис. 20.

При полном штиле перемещались только 2 самки и 2 самца степных орлов и только во время осенней миграции.

При сильном ветре (более 38 км/ч) только 4 птицы летели, причём в 2-х случаях это самка Тес заканчивала переход через Карагату на осенней миграции в 2019 и 2021 гг., 7 октября 2021 г. она за три часа без остановок пересекла Карагату, начав движение в передовых складках северного макросклона Карагату при скорости ветра 32 км/ч. Также на осенней миграции 2 сентября 2018 г., при скорости ветра 43 км/ч, пролёт вдоль южного склона Карагату совершил Кенжык. Ещё один про-

Given average wind speed while eagles crossed the Karatau and average wind direction that affected at least 50% of migrants, the risk of bird collisions on the territory of Zhanatas WPP is 2.4 times higher (table 14).

With correction for wind, an annual mortality rate of 1175–1295 migrating eagles (29–32 birds per turbine annually) is expected at the Zhanatas WPP without taking into account the proportion of birds avoiding collision.

Tables with calculations of mortality risk of Eastern Imperial Eagles⁵⁴, Steppe Eagles⁵⁵, and Greater Spotted Eagles⁵⁶ at Zhanatas WPP with correction for wind speed and direction relative to bird movement are available as supplementary material to the article.

Assuming that 96% of eagles on migration through Karatau will avoid collision with wind turbine blades (1% more than the estimation of Band *et al.*, 2007 as a general norm of avoidance), we lower eagle mortality risk at Zhanatas WPP to 20–23 individuals annually or 0.5–0.6 individuals per turbine annually for the base model and to 47–52 individuals annually or 1.2–1.3 individuals per turbine annually for the model with the correction for wind speed and direction. It is unclear if we can assume that this proportion of migrating eagles, a considerable amount of which are first-year birds migrating through Karatau for the first time, will effectively avoid collisions, especially taking into account that with head or flank wind eagles have less capability to maneuver while moving through the RSZ of the WPP built in the area where eagles begin their ascent.

ход при сильном ветре у северо-западной оконечности Карагатай совершила Сарыгуль на обратной весенней миграции 13 марта 2021 г.: начав движение в Бетпак-Дале при скорости ветра 34 км/ч, орлица за 3 ч прошла Карагатай, двигаясь со скоростью 60 км/ч по ветру при скорости ветра 48 км/ч.

Перемещения степных орлов при скорости ветра в диапазоне от 24 до 38 км/ч отмечены в 43 случаях из 477 (9%), причём 38 из них лежат вдоль южного макросклона Карагатай и только 4 приурочены к равнине в подножии северного макросклона и 1 – к юго-восточной кромке Карагатай к западу от Чокпака (рис. 19).

Основная часть локаций орлов взята в точках со скоростью ветра в диапазоне от 5 до 20 км/ч и этот диапазон, видимо, является наиболее оптимальным во время миграции. Какой-либо серьёзной корреляции скорости перемещения орлов от скорости ветра не отмечено как раз именно потому, что большая часть орлов летит при низкой скорости ветра. Очевидно, что при высоких скоростях ветра значительно увеличивается и скорость полёта орлов, но они предпочитают пережидать сильные ветра на земле при прохождении горных преград, а летят при скорости ветра более чем 20 км/ч преимущественно на равнине.

Анализ движения орлов относительно направления ветра показал, что в 53,46% случаев из 477 орлы перемещались при попутном и попутно-боковом ветре (диапазон от 0 до 60°), 26,61% – при боковом ветре (61–120°) и 20,34% – при встречном и встречно-боковом ветре (121–180°) (рис. 19). Причём, лишь 7 локаций (7,22%) из 97 в движении при встречном ветре были приурочены к передовым складкам северного склона Карагатай, а основная доля таких локаций (87,63%) была приурочена к южному склону и юго-восточной оконечности Карагатай. То же самое можно сказать и о движении орлов при боковом ветре – лишь 16 локаций (18,8%) из 125 были сосредоточены вдоль его северного склона и северных предгорий, а остальные лежали либо по южной периферии хребта, либо в его центре. Как минимум в половине случаев перемещения орлов при боковом ветре орлы начинали движение при попутном ветре и только после пресечения Карагатай (обычно с северо-запада на юго-восток) двигались при боковом ветре.

В целом за оба миграционных периода угол между направлениями ветра и движения орлов варьировал от 0 до 179°, составив в среднем ($n=477$) $67,16 \pm 51,89^\circ$ (рис. 20,

As shown above, 26.61% of eagles move through Karatau with a flank wind (61–120°), and 20.34% – with head wind or head/flank wind (121–180°) (see fig. 19), but in the area of Zhanatas WPP only 14.29% of eagles migrated without fair wind. Then, only 85.71% of eagles should be attributed to the group with the probability of collisions of 96%; for eagles that migrate in less favorable conditions it should be estimated at least twice lower.

Thus, the minimal probability of eagle death at Zhanatas WPP as a result of collision with wind turbine blades is estimated at 55–61 individuals annually, or 1.38–1.53 individuals per turbine annually taking into account the bird flight attitude, wind speed and direction, as well as an ability to avoid wind turbine blades or pass round the turbines at a significant distance (table 15).

Different sources report on other WPPs development planned in Karatau and around it (Trofimov, 2012; Upushev, Bolatbek, 2012; JSC KazNIPITES..., 2017; UNDP Kazakhstan, 2008; WPS Baidibek-1..., 2021) in the WCHMC area, and their stages of development are unknown. If these projects will be implemented, total eagle deaths on wind turbines in Karatau may increase to 165–183 individuals annually. And if the real bird mortality rate will exceed the predicted range because of a low share of first-year birds that are able to avoid collisions or fly around the WPP, then in the future the number of dying eagles will lower because of the elimination of birds migrating in the WCHMC, and as a result, the number of breeding groups associated with this corridor will decrease. It is southeastern Kazakhstan Steppe Eagle population groups, as well as Eastern Imperial Eagle population groups in Eastern and Central Kazakhstan that will primarily be threatened due to their low number and the minimal number of young birds that are encountered during summer movements and which serve as a population reserve to rebuild nesting pairs.

Based on the trend of further wind power development in Southeastern Kazakhstan, including in Karatau, we zoned Karatau for a rapid test of possible WPP influence on eagles (fig. 27). Zoning is done using the total eagle migration data based on network mapping and density analysis of bird tracks followed with ARGOS/GPS-transmitters and GPS/GSM-trackers (see fig. 11), as well as minimal probability of collision with turbines with average flying profiles of eagles in these zones with correction for wind speed and collision avoidance (see table 10–13) for turbines similar to ones that are used at Zhanatas WPP. Zone 1

21), причём осенью ($n=343$, $65,62 \pm 53,68^\circ$, $lim\ 0-179^\circ$) он был в среднем достоверно уже, чем весной ($n=134$, $71,11 \pm 46,96^\circ$, $lim\ 1-177^\circ$; $T=0$, $Z=10,04$, $p=0,0000$), и у самок ($n=141$, $60,39 \pm 47,69^\circ$, $lim\ 1-179^\circ$) он также оказался уже, чем у самцов ($n=336$, $69,9 \pm 53,38^\circ$, $lim\ 0-179^\circ$; $T=0$, $Z=10,27$, $p=0,0000$) – более тяжёлые самки предпочитали лететь по ветру, более точно придерживаясь его направления, чем более лёгкие самцы (рис. 20).

Факторный анализ показал, что нет никакой дифференциации в группах самок и самцов на осеннем и весеннем пролётах по такому комплексу параметров, как высота над уровнем моря, скорость и направление ветра, азимут перемещения птиц, скорость птиц и угол их движения относительно направления ветра (рис. 22–A).

Регрессионный анализ плохо объясняет связь скорости перемещения орлов (обоих полов) с показателями ветра и высоты над уровнем моря как на осеннем пролёте ($R^2=0,10$, $F(5,337)=8,62$, $p<0,00000$, $SE=14,28$), так и на весеннем ($R^2=0,19$, $F(5,128)=7,16$, $p<0,00001$, $SE=16,27$), но лучше объясняет связь угла между направлением движения птиц и направлением ветра, но только на осенней мигра-

– the risk of collision is at 0.8–1.3 eagles per turbine annually; zone 2 – risk of collision is at 1.4–1.6 eagles per turbine annually; zone 3 – risk of collision is at 1.7–2 and more eagles per turbine annually. Construction of WPPs with blade turbines in zone 3 will lead to catastrophic consequences for some eagle populations that migrate in the WCHMC even with minimal estimation for collision risk with the big share of birds able avoid collisions or prefer not to fly through the WPP.

The stops density map (fig. 28–K1) was made based on the map of locations of overnight and prolonged stops during fall and spring migrations (see fig. 12). Based on this map, we marked out zones (fig. 28–K2) where it is not advisable (zone 1) or inadmissible (zone 2) to build a WPP for a number of reasons. The first reason is the risk of habitat loss at eagle stopovers. The second reason is an increased risk of collision caused by more frequent eagle landings and departures which, in turn, increase the frequency of passes through hazardous high-altitude rotor swept zones at WPPs. The two issues are mutually exclusive, but the domination of one or the other after the construction of WPPs in highlighted zones depends on a multitude of unpredictable factors (see discussion). WCHMC almost perpendicularly crosses at least 3 wind corridors with prevailing wind speed above 5 m/s, and that makes these wind corridors promising for WPP construction: southwest of Kalba, Balkhash region, and Karatau (see Parsons ..., 2009; Badger et al., 2021). Eagle migration is the same in all wind corridors, and therefore further wind power development in these wind corridors will only increase risk to eagles.

Discussion

Currently, despite the considerable number of publications describing movements of birds

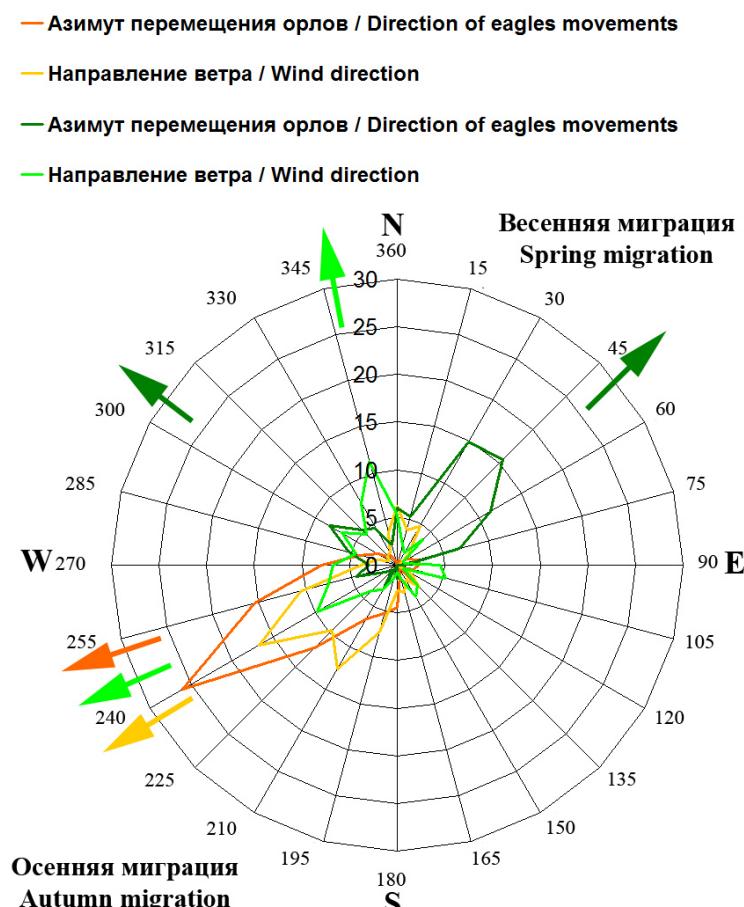
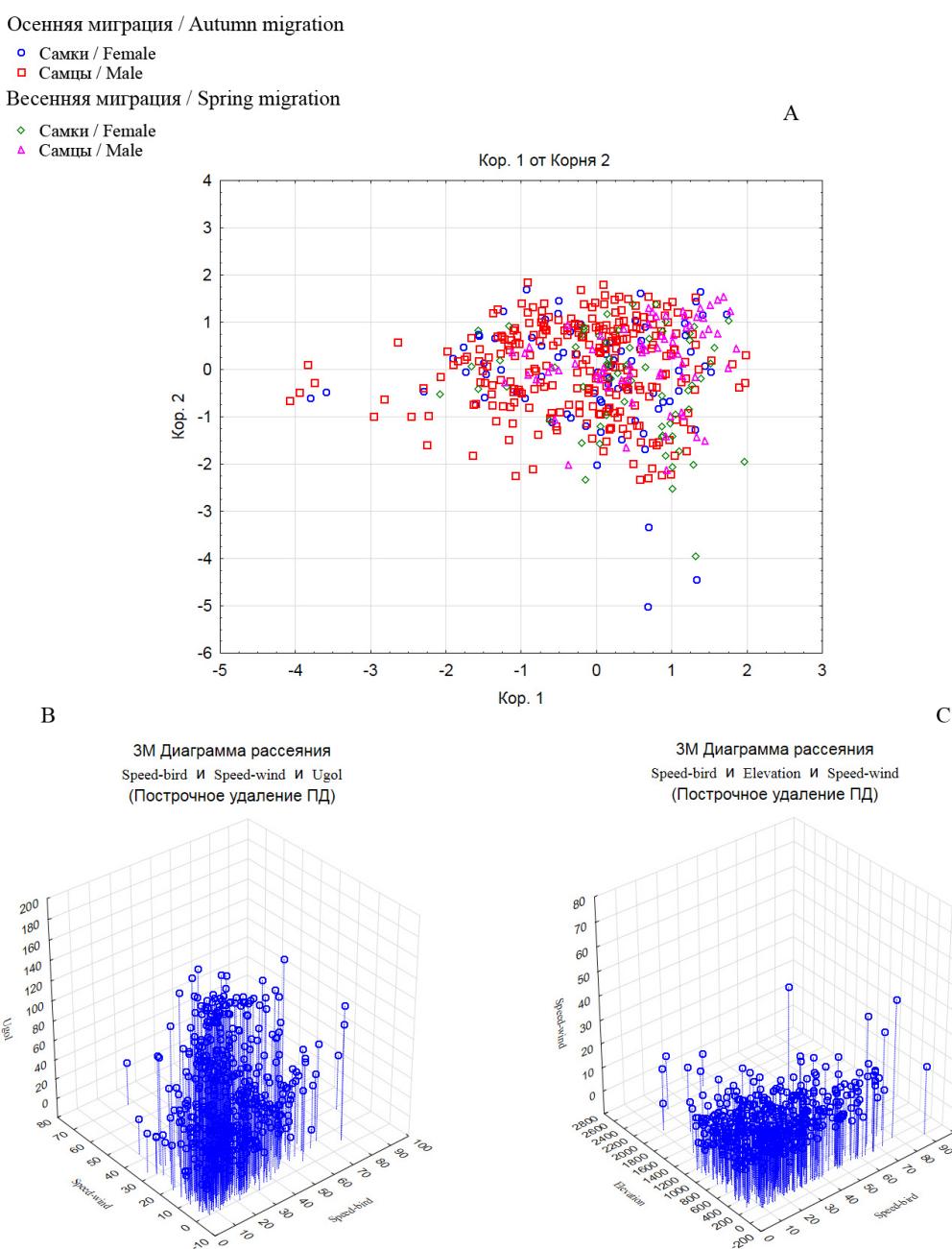


Рис. 21. Диаграмма азимута перемещений орлов на весенней и осенней миграциях относительно направления ветра (по данным из локаций орлов). В диаграмме отображаются доли (%) от числа локаций в каждой группе): осенняя миграция – $n=343$, весенняя миграция – $n=134$.

Fig. 21. Diagram of the azimuth of eagle movements on spring and autumn migrations against wind direction (according to data from eagle locations). The diagram shows percentage (%) of the number of locations in each group: autumn migration – $n=343$, spring migration – $n=134$.

Рис. 22. Диаграмма рассеяния канонических значений для самок и самцов на осеннеи и весеннеи миграциях (A) и 3D диаграммы рассеяния показателей скорости птиц (Speed-bird) относительно высоты над уровнем моря (Elevation), скорости ветра (Speed-wind) и угла между направлением перемещения птиц и ветром (Ugol) (B and C).

Fig. 22. Scatter diagram of canonical values for females and males on autumn and spring migrations (A) and 3D scatter diagrams of bird speed versus elevation, windspeed and the angle between the direction of bird movement and wind (Ugol) (B and C).



ции ($R^2=0,42$, $F(5,337)=51,39$, $p<0,0000$, $SE=40,73$) (рис. 22 – B, C).

Сроки осеннеи и весеннеи миграций орлов через Карагау

Даты, в которые наблюдалась миграция орлов, помеченных трекерами, через Карагау приведены в табл. 7 и на рис. 23.

Большой подорлик Клангуша мигрировал через Карагау осенью в достаточно узкий период времени: 27 сентября – 2 октября, в то время как сроки его весеннеи миграции ежегодно смешались на более ранние – с 19–20 апреля в 2015 г. к 25–28 марта в 2018 г.

Осенняя миграция орлов-могильников проходила с 17 октября по 28 ноября, причём первогодки проходили Карагау до 4

on migrations, there are many unknown factors that determine migrants' choice of routes, as well as affect the nature of bird movements along these routes.

The WCHMC is a very interesting area for study of birds of prey migrations and obtaining information on the above-mentioned objectives. Since this migration corridor lies outside the area of active research by foreign ornithologists, it remains a "blind spot" (Prins, Nangail, 2017). Until recently, there has been no data on migration parameters using the latest tools (e.g. GPS/GSM tracking). There are still no radar studies and nor any up-to-date systematic visual observations of migration, such as those conducted in Georgia (Vansteelant et al., 2014; 2020; Wehrmann et al., 2019)

Табл. 7. Даты миграций орлов через Карагату. Принятые сокращения: АСЭР – Алтай-Саянский регион, СК – Центральный Казахстан, n – число пересечений Карагату орлом в ходе одной миграции (включая ложную миграцию, возврат на зимовку и итоговую миграцию или петлевой пролёт через две части Карагату в ходе одной миграции).

Table 7. Dates of eagle migration through Karatau. Abbreviations: ASER – Altai-Sayan Region, CK – Central Kazakhstan, n – number of Karatau crossings by an eagle during one migration (including false migration, return for wintering and final migration or a loop flight through two parts of Karatau during one migration).

Имя Name	Год Year	n	Даты осеннеї миграции Dates of autumn migration <i>M±SD</i>		Δни Days	n	Даты весеннеї миграции Dates of spring migration <i>M±SD</i>		Δни Days	
			1	2	3	4	5	6	7	8
Клангуша / Klangusha	2014	1			02–04/10		3	0		
Клангуша / Klangusha	2015	0					1		19–20/04	2
Клангуша / Klangusha	2016	1			27–28/09		2	1	01–02/04	2
Клангуша / Klangusha	2017	1			01/10		1	1	30/03	1
Клангуша / Klangusha	2018	1			27–28/09		2	1	25–28/03	4
ACL	2014–2018				29–30/09±3	2±0.8 (1–3)			03–05/04±11	2.3±1.3 (1–4)
Каночка / Kanochka	2014	1			31/10–04/11		5	0		
Каночка / Kanochka	2015	1			14/11		1	1	12/04	1
Ануйка / Anuyka	2014	1			17–19/10		3	0		
Ануйка / Anuyka	2015	1			14/11		1	1	11–12/04	2
Ороша / Orosha	2014	1			30–31/10		2	0		
Ороша / Orosha	2015	3			08–10/11 + 14/11		3+1	1	05–06/04	2
Ороша / Orosha	2016	3			05–06/11 + 09/11 + 11/11		2+1+1	1	26–27/02	2
Ороша / Orosha	2017	1			02–03/11		2	1	03–06/03	4
Ороша / Orosha	2018	3			04/11 + 21/11 + 25–28/11		1+1+4	1	23–25/02	3
AH	2014–2018				08–09/11±10	2±0.8 (1–5)			20–21/03±22	2.3±1.0 (1–4)
Хакас / Khakas	2018	1			02–05/11		4	0		
Хакас / Khakas	2019	3			03/09 + 25–26/09 + 03/10		1+2+1	1	14/03	1
Хакас / Khakas	2020	1			20/08		1	1	09–10/04	2
Хакас / Khakas	2021	1			02–03/11		2	1	30–31/03	2
Син / Sin	2018	1			31/10–04/11		5	0		
Син / Sin	2019	1			09/08		1	0		
Син / Sin	2021	1			23–24/10		2	1	31/03	1
Син / Sin	2021	0					1		01/04	1
Мин / Min	2018	1			30–31/10		2	0		
Мин / Min	2019	1			31/08–01/09		2	0		
Мин / Min	2020	1			28–29/10		2	1	16/04	1
Мин / Min	2021	1			23–24/10		2	1	30/03	1
Ураган / Uragan	2018	1			08–09/11		2	0		
Ураган / Uragan	2019	1			09–10/11		2	0		
Ураган / Uragan	2020	1			16/10		1	0		
Ураган / Uragan	2021	1			20–22/10		3	1	11/04	1
Тэс / Tes	2019	1			15–17/10		3	0		
Тэс / Tes	2020	1			16–18/09		3	1	09/05	1
Тэс / Tes	2021	1			07/10		1	1	30/04–01/05	2
Шойгу / Shoygu	2019	1			12–14/11		3	0		
Ита / Ita	2019	1			29/10–07/11		10	0		
Хаддад / Khaddad	2019	1			10–11/11		2	0		
Хаддад / Khaddad	2020	0					1		24–26/04	3
Жанна / Jeanne	2019	1			06–07/10		2	0		
Жанна / Jeanne	2020	1			18/09		1	1	14–17/03	4
Жанна / Jeanne	2021	1			12–13/10		2	1	28–30/03	
Аскиз / Askiz	2020	1			28–29/10		2	0		
Аскиз / Askiz	2021	1			31/08–07/09		8	1	03–05/04	3
Хан / Khan	2021	1			31/10–01/11		2	0		
Крон / Kron	2021	1			18/10		1	0		

Табл. 7. Даты миграций орлов через Карагатай. Принятые сокращения: АСЭР – Алтай-Саянский регион, СК – Центральный Казахстан, n – число пересечений Карагатай орлом в ходе одной миграции (включая ложную миграцию, возврат на зимовку и итоговую миграцию или петлевой пролёт через две части Карагатай в ходе одной миграции) (окончание).

Table 7. Dates of eagle migration through Karatau. Abbreviations: ASER – Altai-Sayan Region, CK – Central Kazakhstan, n – number of Karatau crossings by an eagle during one migration (including false migration, return for wintering and final migration or a loop flight through two parts of Karatau during one migration) (Ending).

1	2	3	4	5	6	7	8
Рея / Reya	2021	1	30/10–01/11	3	0		
AN ASER	2018–2021		12–13/10±26 2.5±2.0 (1–10)			07–08/04±16 1.8±1.0 (1–4)	
Кенжык / Kenzhyk	2018	2	01–06/09 + 17/09	6+1	0		
Кенжык / Kenzhyk	2019	0		1		26/04	1
Сарыгуль / Sarygul	2019	0		0			
Сарыгуль / Sarygul	2020	0		1		01/04	1
Сарыгуль / Sarygul	2021	0		3	09/03 + 13/03 + 21/03		1+1+1
Айна / Ayna	2020	0		1		07.04	1
Айна / Ayna	2021	1	05/08	1	0		
AN CK	2018–2021		28–30/08±22 2.7±2.9 (1–6)			28/03±18	1
AN	2018–2021		08–09/10±29 2.5±2.0 (1–10)			04–08/04±17 1.5±0.9 (1–4)	
Все орлы	2014–2021		16–17/10±28 2.3±1.8 (1–10)			31/03–01/04±18 1.8±1.0 (1–4)	
All eagles							

ноября, в последующие годы мигрируя в более поздние сроки – со 2 по 28 ноября. Весенняя миграция первогодок, вне зависимости от удалённости зимовок от Карагатая (Ануйка и Ороша мигрировали из низовьев Инда в Пакистане, Каночка мигрировала из Узбекистана), происходила в достаточно узкий период с 5 по 12 апреля. Ороша, выбравший для зимовки свалку на окраине Шымкента, во второй и последующие годы мигрировал через Карагатай с 23 февраля по 6 марта, видимо определяя начало миграции полуувзрослых и взрослых птиц, возвращающихся с холодных зимовок.

Степные орлы осенью мигрировали через Карагатай с 5 августа по 12 ноября, двумя выраженными волнами, как было показано ранее (Карякин и др., 2019e) – миграция птиц из популяций Центрального Казахстана (а также, видимо, из популяций Западного и Юго-Восточного Казахстана) и птиц 2–3 года жизни из Алтай-Саянского региона, но летавших в Западном и Центральном Казахстане, шла в период с 5 августа по 17 сентября, в то время как первогодки из Алтай-Саянского региона мигрировали через Карагатай в период с 6 октября по 14 ноября ($n=13$, в среднем 29 октября ± 10 дней). Неполовозрелые (2–4 года) орлы из Алтай-Саянского региона, проводившие лето в натальной области, мигрировали через Карагатай в период с 12 октября по 3 ноября – т.е. в сроки миграции первогодок. Весной степные орлы мигрировали через Карагатай с 9 марта по 9 мая, причём большинство птиц проходило, видимо, с 13 марта по 11 апреля (рис. 23).

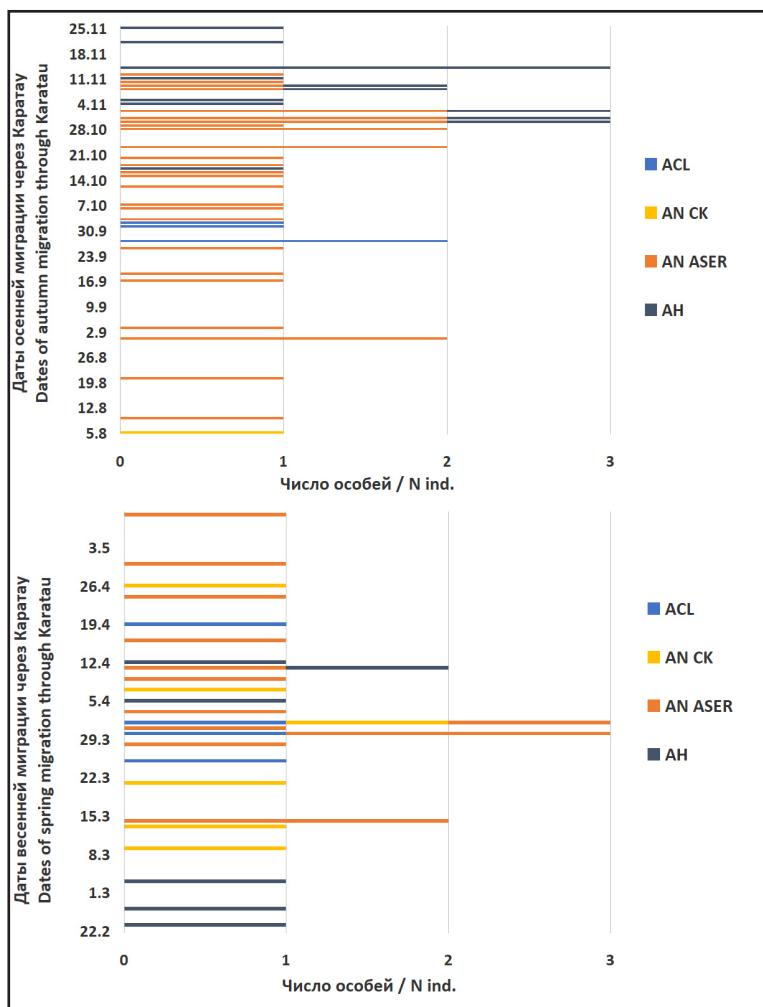
or Nepal (Gurung et al., 2004; 2019; 2020; deCandido et al., 2013; Subedi et al., 2017).

Our study of eagle migration sheds some light on the parameters of migration of several species in the WCHMC. Together with the results of tracking of Black-Eared Kites (*Milvus migrans lineatus*) (see Kumar et al., 2020; Litterák et al., 2021) they serve as groundwork in the study of raptor migration parameters in this part of Eurasia.

It is already clear that compared to lighter kites, which by their flight characteristics occupy an intermediate position between hawks and eagles (see Spaar, 1997), eagles prefer to fly around high mountains and try to avoid even Zailiisk and Talas Alatau, Kyrgyz Ridge and all the western ridges of Pamir-Alai. It is very likely that this phenomenon is based on low wind load on foothills, caused by topography and movement of air masses. Powerful thermals are formed in foothills, making upward flows that roll down to the foothill plain, where a sharp boundary is formed between zones with low and high wind speeds, which determines the WCHMC axis (fig. 29).

Birds have a close connection between flight behavior and wing morphology. Wing load and aspect ratio determine the ability of birds to use wind energy (see Spear, Ainley, 1997).

A comparison of flight styles and parameters of migrating birds of prey in Israel showed that the rate of ascent in thermals did not differ between different species, indicating that it is mainly the strength of ascending thermal flows that determines the rate of ascent while morphological traits were less important, but



На осенней миграции каждый орёл пересекал Карагату за 1–10 дней, в среднем ($n=52$) $2,3 \pm 1,8$ дней, в то время как на

Табл. 8. Оценка численности орлов, летящих осенью через Карагату, по 10-дневным периодам (вверху в ячейках доли от общей численности мигрантов, внизу – численность в особях).

Table 8. Population estimate of eagles flying through Karatau in autumn by 10-day periods (top in cells – a percentage of the total number of migrants, bottom – number of individuals).

Вид Species	Даты / Dates												Численность на осеннеї миграции (ос.) Number of individuals during autumn migration	
	01– 10/08	11– 20/08	21– 30/08	31/08– 09/09	10– 19/09	20– 29/09	30/09– 09/10	10– 19/10	20– 29/10	30/10– 08/11	09– 18/11	19– 28/11		
ACL				2.5	15	32.5	32.5	15	2.5				2186	
AH						1.25	2.5	3.17	11.08	40	34.22	7.78	(2024–2348)	
P	AN	3.83	6.38	6.38	6.38	6.38	8.35	8.57	8.57	10.32	12.9	12.9	9.04	
	ACL			55 (51–59)	328 (304– 352)	710 (658– 763)	710 (658– 763)	328 (304– 352)	55 (51–59)					
	AH					104 (99– 109)	208 (199– 218)	264 (252– 277)	924 (880– 967)	3334 (3178– 3490)	2852 (2719– 2985)	648 (618– 679)	8335 (7945–8724)	
N	AN	978 (855– 1130)	1630 (1425– 1882)	1630 (1425– 1882)	1630 (1425– 1882)	1630 (1425– 1882)	2133 (1865– 2464)	2189 (1914– 2528)	2189 (1914– 2528)	2637 (2305– 3045)	3296 (2881– 3806)	3296 (2881– 3806)	2310 (2019– 2667)	25548 (22336–29504)
	Всего	978	1630	1630	1685	1958	2948	3108	2782	3615	6630	6148	2958	36068
Total		(855– 1130)	(1425– 1882)	(1425– 1882)	(1476– 1941)	(1729– 2235)	(3336)	(3510)	(3157)	(4070)	(7296)	(6791)	(3346)	(32305–40576)

Рис. 23. Даты миграций орлов через Карагату.

Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*), ASER – Алтае-Саянский регион, CK – Центральный Казахстан.

Fig. 23. Dates of migration of eagles through Karatau.

Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*), ASER – Altai-Sayan Region, CK – Central Kazakhstan.

in interthermal gliding air speed was positively related and gliding angle negatively related to the average body mass of birds. In sailing and gliding flight the airspeed over rough terrain was positively related to body mass (Spaar, 1997). Thus, the ability of birds to glide increases with body mass. The heavier the eagle, the more willingly it will choose a migration path where large ascending flows can provide a long glide.

That is why Steppe Eagles, which have wings longer but lighter than those of Imperial Eagles, transit Karatau in a fairly wide range, while Imperial Eagles fly in a narrower range, mainly through the Chokpak, choosing the most optimal orographic conditions, similar to Golden Eagles in the Appalachians, concentrating in areas that cause orographic uplifts (Dennhardt et al., 2015).

As they move in the migration corridor, gliding birds of prey usually use two types of ascending flows: (a) orographic ascent resulting from the deflection of horizontal winds over sloping ground and (b) thermal ascent result-

Табл. 9. Оценка численности орлов, летящих весной через Карагату, по 10-дневным периодам (вверху в ячейках доли от общей численности мигрантов, внизу – численность в особях).

Table 9. Population estimate of eagles flying through Karatau in spring by 10-day periods (top in cells – a percentage of the total number of migrants, bottom – number of individuals).

Вид Species	Даты / Dates								Численность на весенне ^й миграции (ос.) Number of individuals during spring migration
	22/02–03/03	04–13/03	14–23/03	24/03–02/04	03–12/04	13–22/04	23/04–02/05	03–12/05	
ACL			4	28.69	30.77	24.54	8.5	3.5	
AH	15.6	18.6	18.6	18.6	18.6	10			
P AN		5.89	11.76	25.21	28.57	12.07	9	7.5	
ACL			69 (64–74)	492 (456–529)	528 (489–567)	421 (390–452)	146 (135–157)	60 (56–65)	1716 (1588–1843)
AH	970 (925–1016)	1157 (1103–1211)	1157 (1103–1211)	1157 (1103–1211)	1157 (1103–1211)	622 (593–651)			6220 (5931–6510)
AN		915 (800–1057)	1827 (1597–2110)	3917 (3425–4523)	4439 (3881–5126)	1875 (1640–2166)	1398 (1223–1615)	1165 (1019–1346)	15536 (13584–17942)
Всего	970	2072	3053	5566	6124	2918	1544	1225	23472
Total	(925–1016)	(1903–2268)	(2764–3395)	(4983–6263)	(5473–6904)	(2622–3269)	(1358–1771)	(1074–1410)	(21103–26295)

весенней миграции – за 1–4, в среднем ($n=29$) 1.8 ± 1.0 дней (рис. 14). И если у больших подорликов и орлов-могильников продолжительность прохождения Карагату на осенней и весенней миграциях принципиально не отличалась (особи обоих видов проходили Карагату обычно за 2 дня), то у степных орлов срок прохождения Карагату индивидуумами весной был достоверно короче, чем осенью ($T=0$, $Z=2.67$, $p=0.008$) – в среднем ($n=19$) 1.5 ± 0.9 дня против ($n=34$) 2.5 ± 2.0 .

Сроки осенней миграции через Карагату для всех видов орлов мы определяем в 113 дней, с 5 августа по 25 ноября, весенней – в 77 дней, с 22 февраля по 9 мая. Оценка численности мигрантов в разные сроки осенней и весенней миграций орлов через Карагату представлена в табл. 8, 9 и на рис. 24.

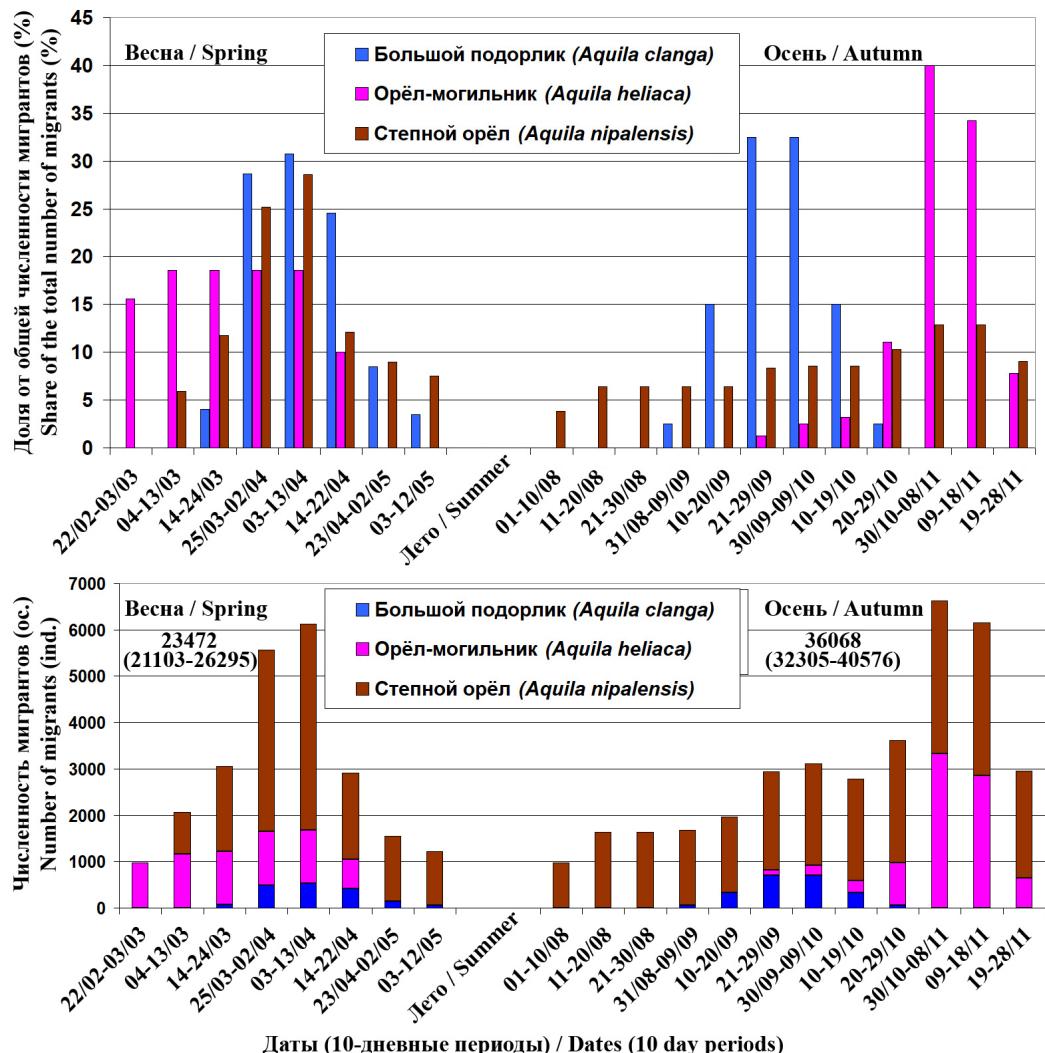
Возможное влияние ВЭС на популяции мигрирующих орлов

В соответствии с данными прослеживания перемещений орлов с помощью трекеров и визуального наблюдения за мигрантами, 18% птиц, пересекающих Карагату, летят в высотном диапазоне, опасном с точки зрения гибели на турбинах ВЭС – 50–155 м (здесь мы учитываем поправку на 10% птиц, не попавших в объединенную выборку показателей высоты полёта, см. выше). Значит, согласно оценке численности мигрантов, риску столкновения с ВЭС при пересечении Карагату может подвергаться от 5815 до 7304, в среднем 6492, орлов на осенней миграции и от

инг from heating of the land surface by solar radiation (Kerlinger, 1989). Gliding birds use orographic ascent to gain height (often low one) and then glide downward in their desired direction, and so alternate ascent and glide as they move along ridges rich in orographic ascent (Bohrer et al., 2012; Katzner et al., 2012; 2015; Johnston et al., 2013). In the case of thermal ascent, gliding birds usually fly fairly high into thermals, using a circular trajectory from which they glide linearly to the next thermal (Kerlinger, 1989; Katzner et al., 2015; Santos et al., 2017). Because of these special requirements, gliding birds tend to move through areas of high thermal potential, which are migration corridors (Dennhardt et al., 2015). It is noted that during migration, when thermals are inaccessible, eagles (Golden Eagles in this study) minimize migration time rather than energy by choosing a more energy-consuming flight along the slope instead of waiting for thermals to appear (Duerr et al., 2012), i.e., they tend to search for places of orographic ascent by moving through places where it occurs. Orographic ascent is especially useful for migrants when formed on ridges oriented in the direction of migration (Dennhardt et al., 2015; Kerlinger, 1989; Marques et al., 2020). But if the ridges are oriented transversely to migration, then wind interferes with migration parameters especially, as it happens, for example, in the USA, where in the mountains with ridges directing the migration, eagles fly mostly in crosswinds (Johnston et al., 2013; Katzner et al., 2015; 2016).

Рис. 24. Оценка численности орлов на осенне-весенне-миграциях через Карагату: вверху – доля птиц в % в десятидневные периоды весенней и осенне-миграций от общей численности мигрантов в каждый миграционный сезон, внизу – численность в особнях в десятидневные периоды весенней и осенне-миграций.

Fig. 24. Population estimate of eagles on autumn and spring migrations through Karatau: top – percentage of birds (%) in ten-day periods of spring and autumn migrations of the total number of migrants in each migration season, bottom – number of individuals in ten-day periods of spring and autumn migrations.



3799 до 4733, в среднем 4225, орлов на весенней миграции. Причём, эта цифра в реальности может быть больше, так как до подъёма над склонами Карагату в термиках орлы перемещаются на высотах до 200 м над землёй и к передовому складкам хребта подходят в «опасном» диапазоне высот (см. диаграмму рассеяния на рис. 18). Таким образом, вероятность столкновения с турбинами АЭП будет максимальная на передовых складках северного склона Карагату в период осенне-миграции и на передовых складках южного склона Карагату в период весенней миграции.

Через Жанатасскую ВЭС, протяжённость которой составляет лишь 6,34% от протяжённости Карагату (26,3 км относительно 415 км), прошли 6 миграционных треков орлов из 69 пересекших Карагату, – т.е. 8,7% от числа прослеженных миграций через Карагату, причём 3 из них непосредственно близ турбин (рис. 25). Если предположить аналогичную долю проходов через ВЭС среди всех мигрантов, то можно говорить о 4646–5818, в среднем

In flight with a tailwind and gliding, the energy expenditure of gliding birds is almost as low as when resting on a perching site or nest (Weimerskirch et al., 2000; Mandel et al., 2008; Sakamoto et al., 2013). This, in turn, may limit the directions in which dynamically gliding birds can effectively move across mountain barriers in the migration corridor. Consequently, they must optimize their migration strategies by compromising between knowledge of location and quality of the flyway and the current wind load, which varies over time, not only from season to season, but also over the course of one season. As shown in seabirds, they often fly with favorable cross and tail winds (Weimerskirch et al., 2000; Wakefield et al., 2009; Spear, Ainley, 1997; Paiva et al., 2010; Ventura et al., 2020), which allow them to travel at high travel speeds and low energy costs (Weimerskirch et al., 2000; Wakefield et al., 2009; Richardson, 2011; Richardson et al., 2018). Both the relative wind direction (i.e., the difference in the angle between the wind direction and the bird's direction of flight) and the relative wind

5180, проходах в год, 836–1047, в среднем 932. из которых, как минимум – в опасном высотном диапазоне.

Для того, чтобы максимально корректно оценить гибель орлов на Жанатасской ВЭС, мы использовали CRM «Band» (см. методику), рассчитывая вероятность столкновения с турбинами для каждого вида отдельно при простоях ВЭС в среднем 24,2% в год (17,5–33,5% в месяц).

Для орлов-могильников средний риск столкновения при прохождении птиц в ЗДР одной турбины составил в среднем 8,4% в базовой модели (5,8% – по ветру, 11,0% – против ветра) (табл. 10, 11) и 8,5% в расширенной модели, с использованием распределения высоты полёта птиц при

speed (or the tailwind component, i.e., the windspeed component in the bird's direction of flight) influence their actual speed during flight (Weimerskirch *et al.*, 2000; Wakefield *et al.*, 2009; Ventura *et al.*, 2020). The results of the wind model showed that the actual speed of birds (by the example of the Cape Verde Petrel *Pterodroma deserta*) depends on angle in a nonlinear trend, with the predicted bird speed reaching a maximum at angle values around 50°. The model also showed that this tendency was increased particularly when birds traveled in strong winds (Ventura *et al.*, 2020). Similarly, eagles move through Karatau, preferring tailwinds and quartering tailwinds in the range up to 60° (in the optimum 40–50°, see fig. 19), changing their migration routes year by year to adapt to the current atmospheric situation.

Understanding flight behavior of migrants in response to weather conditions is becoming increasingly important for reducing human-bird conflicts in the aerosphere, especially in light of the rapid development of wind power (Ross-Smith *et al.*, 2016), but it remains understudied (Shamoun-Baranes *et al.*, 2017).

Standard WPP risk assessments assume a linear dependence between the frequency of occurrence of birds in the WPP area or the frequency of birds fly through WPP rotors and their mortality (Langston, Pullan, 2003; Smallwood, Thelander, 2004; Tapia *et al.*, 2009; Telleria, 2009). This approach identifies shortcomings and provides that the likelihood of birds colliding with turbines is highly dependent on the avoidance behavior of different species with respect to collision with blades, topographic terrain characteristics, and wind loading, rather than on bird numbers alone (Barrios, Rodríguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2008; 2012; Garvin *et al.*, 2010; Ferrer *et al.*, 2012; Liechti *et al.*, 2013; Katzner *et al.*, 2018; Miller *et al.*, 2018; Fielding *et al.*, 2021; Murgatroyd *et al.*, 2021). Even tower design and rotor size play a role in number of deaths (Thelander *et al.*, 2000; ICF International, 2016).

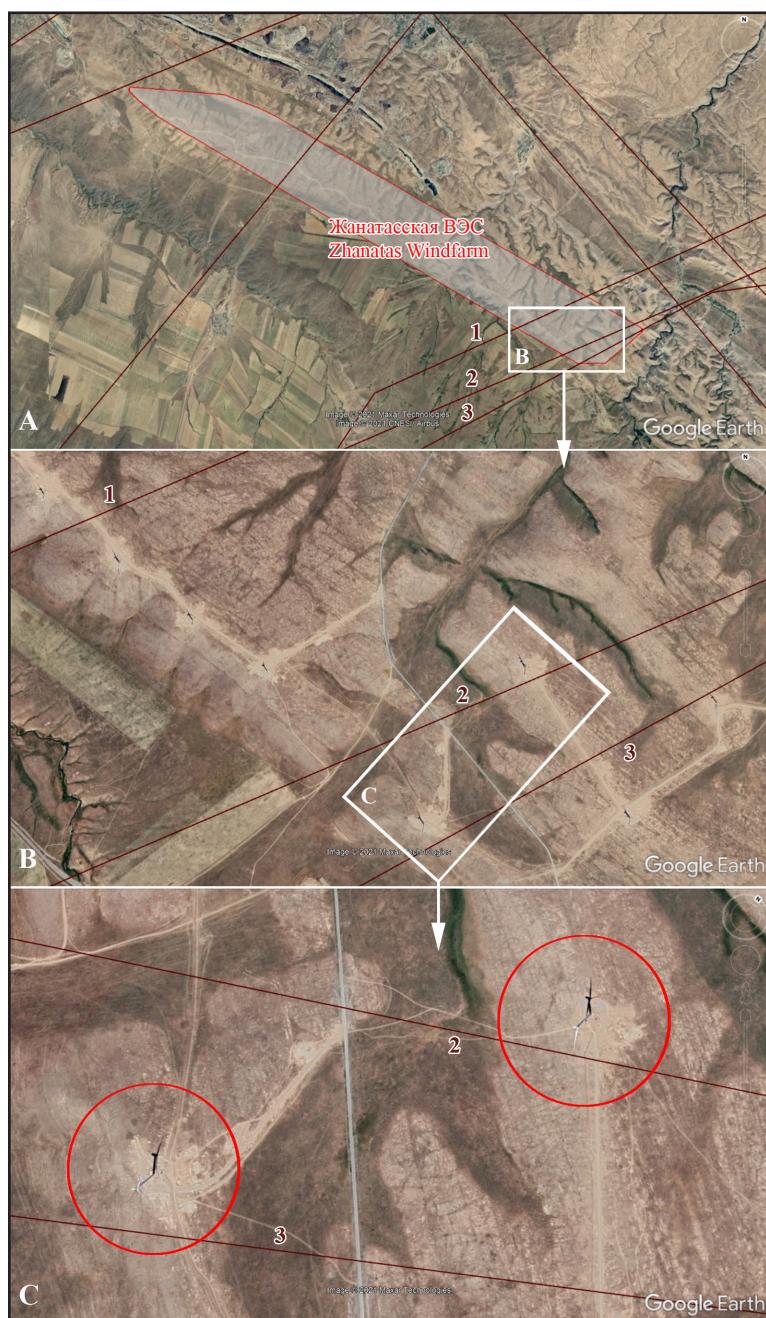


Рис. 25. Жанатасская ВЭС на космоснимке высокого разрешения и треки орлов, проходящие мимо турбин: 1 – Ураган, 09.11.2019, 2 – Тэс, 07.10.2021, 3 – Ита, 02.11.2019.

Fig. 25. Zhanatas WPP on a high-resolution satellite image and tracks of eagles passing by the turbines: 1 – Uragan, 09/11/2019, 2 – Tes, 07/10/2021, 3 – Ita, 02/11/2019.

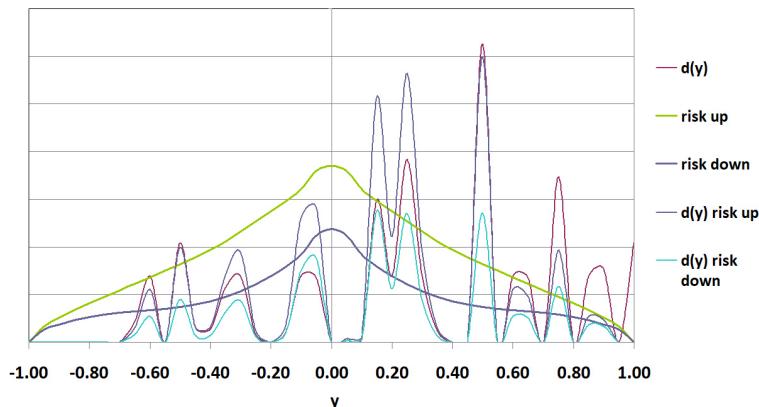


Рис. 26. График оценки риска столкновений орлов с лопастями турбин в альтернативной модели, использующей показатели высоты полёта птиц. Параметры: скорректированная доля птиц, летящих на высоте ротора – 18,29%, интеграл потока – 0,1926; для орла-могильника: интеграл столкновений: против ветра – 0,0217, по ветру – 0,0111, средний – 0,0164; для степного орла: интеграл столкновений: против ветра – 0,0180, по ветру – 0,0099, средний – 0,0140; для большого подорлика: интеграл столкновений: против ветра – 0,0169, по ветру – 0,0091, средний – 0,0130.

Fig. 26. Graph of the risk assessment of collisions of eagles with turbine blades in an alternative model using bird flight altitudes. Parameters: adjusted percentage of birds flying at rotor height – 18.29%, flux integral – 0.1926; for the Imperial Eagle: collision integral: upwind – 0.0217, downwind – 0.0111, mean – 0.0164; for the Steppe Eagle: collision integral: upwind – 0.0180, downwind – 0.0099, mean – 0.0140; for the Greater Spotted Eagle: collision integral: upwind – 0.0169, downwind – 0.0091, mean – 0.0130.

условии пролёта 18,29% особей на высоте ротора (рис. 26). Моделирование показало, что среди 1610–1723 орлов, потенциально проходящих в ЗДР, в результате столкновения с лопастями ветровых турбин может гибнуть 108–117 птиц (табл. 10).

Для степных орлов средний риск столкновения при прохождении птиц в ЗДР одной турбины составил в среднем 7,0% в базовой модели (5,0% – по ветру, 9,0% – против ветра) (табл. 10, 12) и 7,3% в расширенной модели (рис. 26). Моделирование показало, что среди 6888–7371 орлов, потенциально проходящих в ЗДР, в результате столкновения с лопастями ветровых турбин может гибнуть 377–417 птиц (табл. 10).

Для больших подорликов средний риск столкновения при прохождении птиц в ЗДР одной турбины составил в среднем 6,6% в базовой модели (4,7% – по ветру, 8,6% – против ветра) (табл. 10, 13) и 6,8% в расширенной модели (рис. 26). Моделирование показало, что среди 494–528 подорликов, потенциально проходящих в ЗДР, в результате столкновения с лопастями ветровых турбин может гибнуть 26–29 птиц (табл. 10).

Расчёт α и p (столкновения) как функции радиуса для оценки риска столкновения орлов с турбинами Жанатасской ВЭС в базовой модели CRM «Band» приведён в табл. 11–13.

Our model took into account only the macro-topography of Karatau, dividing it into 3 zones according to the width of the mountain area and guiding ridges, the flying height of birds (Johnston et al., 2014a), and wind direction and speed (Christie, Urquhart, 2015). The probability of eagles avoiding collisions with turbine blades (see Madders, Whitfield, 2006; Whitfield, 2009; May et al., 2011; Johnston et al., 2014b) was also taken at 96%. Unfortunately, this figure of 96% is not confirmed in our case, because there are no field studies of the behavior of exactly Greater Spotted Eagles, Imperial Eagles and Steppe Eagles, especially in the conditions of southeastern Kazakhstan. In the landscape of a mountain barrier in the migration corridor, as with Karatau, under certain wind loads, bird maneuvers to avoid collisions with wind turbine blades can be very complicated. First of all, this applies to the frontal folds of the ridge, where eagles move upwards to overcome mountains. Here, any drift of birds by a crosswind or quartering tailwind towards the turbines standing on the edge of a sharp altitude difference can be fatal for birds, and without actual observations of the process it cannot be predicted and modeled. Therefore, any theoretical framework developed on other species under other natural conditions may simply not work here and distort risk assessment of birds collision with WPP turbines and result in underestimation.

The finite probabilities of bird collision with wind turbine blades derived from the CRM “Band” depend primarily on collision avoidance probability, which for most species remains unknown and difficult to determine under certain conditions, especially within species (see Cook et al., 2014). It is the lack of reliable estimates of evasion rates that has been the reason for criticism of the CRM “Band” (Chamberlain et al., 2005; 2006; Masden, Cook, 2016). The CRM authors’ original assumption (see Band et al., 2007) of an overall collision evasion rate of 95%, made in the absence of any empirical measurements after specific studies turned out to be low for a number of species in some countries. Collision evasion rates were estimated for several species and were higher than expected (Desholm, Kahlert, 2005; Desholm, 2006; Everaert, Steinen, 2007; Whitfield, Madders, 2006a; 2006b; Fernley et al., 2007; Urquhart, Whitfield, 2016), up to 99.5–99.9% for the Golden Eagle in Scotland (Madders, 2004 from: Chamberlain et al., 2006; Whitfield, 2009). However, most studies referred to the movements of nesting birds or immatures on nomadic migration, mostly in coastal areas

Табл. 10. Оценка риска столкновений орлов с ветровыми турбинами Жанатасской ВЭС.**Table 10.** Risk assessment of collisions of eagles with wind turbines at Zhanatas WPP.

	Месяц / Month												В течение года Per annum
	Янв Jan	Фев Feb	Март Mar	Апр Apr	Май May	Июнь Jun	Июль Jul	Авг Aug	Сент Sep	Окт Oct	Ноя Nov	Дек Dec	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Орёл-могильник (<i>Aquila heliaca</i>) / Eastern Imperial Eagle (<i>Aquila heliaca</i>)													
Вариант 1 – Базовая модель: риск столкновения при прохождении одного ротора (8,4%)													
Option 1 – Basic model: Collision risk for single rotor transit (8.4%)													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	51	154	627	362	69	14	14	13	19	262	20	4	1610
Число столкновений для всей ВЭС (ос./ месяц)*/ Collisions for entire windfarm (birds per month)*	3	10	43	23	4	1	1	1	1	18	1	0	108
Вариант 2 – Базовая модель с использованием пропорции из распределения высот полёта													
Option 2 – Basic model using proportion from flight distribution													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	3	11	44	24	4	1	1	1	1	19	1	0	110
Вариант 3 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полета (пропорция на высоте ротора 18,29%, интеграл потока 0,1926, интеграл столкновений 0,01643, средний риск столкновения при прохождении одного ротора 8,5%)													
Option 3 – Advanced model using flight height distribution (proportion at rotor height 18.29%, flux integral 0.1926, collision integral 0.01643, average collision risk for single rotor transit 8.5%)													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	54	165	671	387	74	15	15	14	21	280	21	4	1723
Число столкновений для всей ВЭС (ос./ месяц)*/ Collisions for entire windfarm (birds per month)*	3	11	47	25	4	1	1	1	1	20	1	0	117
Степной орёл (<i>Aquila nipalensis</i>) / Steppe Eagle (<i>Aquila nipalensis</i>)													
Вариант 1 – Базовая модель: риск столкновения при прохождении одного ротора (7,0%)													
Option 1 – Basic model: Collision risk for single rotor transit (7.0%)													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	12	24	1287	1679	185	78	76	1181	940	1208	157	62	6888
Число столкновений для всей ВЭС (ос./ месяц)*/ Collisions for entire windfarm (birds per month)*	1	1	75	90	9	4	4	58	53	71	9	3	377
Вариант 2 – Базовая модель с использованием пропорции из распределения высот полёта													
Option 2 – Basic model using proportion from flight distribution													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	1	1	76	92	9	4	4	59	54	72	9	3	383
Вариант 3 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полета (пропорция на высоте ротора 18,29%, интеграл потока 0,1926, интеграл столкновений 0,01399, средний риск столкновения при прохождении одного ротора 7,3%)													
Option 3 – Advanced model using flight height distribution (proportion at rotor height 18.29%, flux integral 0.1926, collision integral 0.01399, average collision risk for single rotor transit 7.3%)													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	13	26	1378	1796	198	83	81	1264	1006	1292	168	66	7371
Число столкновений для всей ВЭС (ос./ месяц)*/ Collisions for entire windfarm (birds per month)*	1	1	83	100	10	4	4	64	58	78	10	4	417
Большой подорлик (<i>Aquila clanga</i>) / Greater Spotted Eagle (<i>Aquila clanga</i>)													
Вариант 1 – Базовая модель: риск столкновения при прохождении одного ротора (6,6%)													
Option 1 – Basic model: Collision risk for single rotor transit (6.6%)													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	0	0	13	30	2	1	1	14	359	74	0	0	494

Табл. 10. Оценка риска столкновений орлов с ветровыми турбинами Жанатасской ВЭС (окончание).**Table 10.** Risk assessment of collisions of eagles with wind turbines at Zhanatas WPP (Ending).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)* / Collisions for entire windfarm (birds per month)*	0	0	1	1	0	0	0	1	19	4	0	0	26
<i>Вариант 2 – Базовая модель с использованием пропорции из распределения высот полёта Option 2 – Basic model using proportion from flight distribution</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	0	0	1	2	0	0	0	1	19	4	0	0	26
<i>Вариант 3 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полёта (пропорция на высоте ротора 18,29%, интеграл потока 0,1926, интеграл столкновений 0,01303, средний риск столкновения при прохождении одного ротора 6,8%) Option 3 – Advanced model using flight height distribution (proportion at rotor height 18.29%, flux integral 0.1926, collision integral 0.01303, average collision risk for single rotor transit 6.8%)</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	0	0	14	32	2	1	1	15	384	79	0	0	528
Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)* / Collisions for entire windfarm (birds per month)*	0	0	1	2	0	0	0	1	21	4	0	0	29
Все орлы / All eagles													
<i>Вариант 1 – Базовая модель: риск столкновения при прохождении одного ротора Option 1 – Basic model: Collision risk for single rotor transit</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	63	178	1927	2071	256	93	91	1208	1318	1544	177	66	8992
Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)* / Collisions for entire windfarm (birds per month)*	4	11	119	114	13	5	5	60	73	93	10	3	511
<i>Вариант 2 – Базовая модель с использованием пропорции из распределения высот полёта Option 2 – Basic model using proportion from flight distribution</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	4	12	121	118	13	5	5	61	74	95	10	3	519
<i>Вариант 3 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полёта Option 3 – Advanced model using flight height distribution</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы / Potential bird transits through rotors	67	191	2063	2215	274	99	97	1293	1411	1651	189	70	9622
Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)* / Collisions for entire windfarm (birds per month)*	4	12	131	127	14	5	5	66	80	102	11	4	563

Примечание / Note:

* – учитывая время простоя 24,2% в год, при условии отсутствия избегания птицами столкновений / allowing for non-op time 24.2% per year, assuming no avoidance.

Таблицы с расчётами риска гибели орлов-могильников⁵¹, степных орлов⁵² и больших подорликов⁵³ на Жанатасской ВЭС доступны в виде дополнительных материалов к статье.

Таким образом, в соответствии с базовой моделью, на Жанатасской ВЭС возможна ежегодная гибель 511–563 мигрирующих орлов из расчёта 13–14 птиц на турбину в

or hilly landscapes, rather than in mountain barrier conditions in the migration corridor (see Walker *et al.*, 2005; Whitfield, Fielding, 2017; Fielding *et al.*, 2021; 2022 by the example of the Golden Eagle in Scotland). Herewith, Scottish Golden Eagles showed higher levels of collision avoidance than was determined for mountain areas of the USA (Smallwood, Karas, 2009; Bell, Smallwood,

⁵¹ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2021/12/AH-itog.xlsx>

⁵² <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2021/12/AN-itog.xlsx>

⁵³ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2021/12/ACL-itog.xlsx>

Табл. 11. Расчёт α и p (столкновения) как функции радиуса для оценки риска столкновения орлов-могильников с турбинами Жанатасской ВЭС в базовой модели CRM «Band» для следующих параметров: число лопастей – 3, максимальная хорда 4,21 м, шаг 15°, длина птицы – 0,78 м, размах крыльев – 2,05 м, тип полёта – скольжение (+1), доля полётов против ветра – 50%, скорость птицы – 5,06 м/с, радиус ротора – 60,5 м, скорость вращения лопастей – 5 об./мин, период вращения – 12 с, соотношение сторон птицы: $\beta=0,38$, интервал интегриации – 0,05.

Table 11. Calculation of α and p (collision) as a function of radius to assess the risk of collision of Imperial Eagles with Zhanatas WPP turbines in the basic model CRM “Band” for the following parameters: number of blades – 3, max chord – 4.21 m, pitch – 15°, bird length – 0.78 m, wingspan – 2.05 m, flight type – gliding (+1), proportion of flights upwind – 50%, bird speed – 5.06 m/sec, rotor radius – 60.5 m, rotation speed – 5 rpm, rotation period – 12.00 sec, bird aspect ratio: $\beta=0.38$, integration interval – 0.05.

Radius (r/R)	chord (c/C)	alpha (α)	Против ветра Upwind:		По ветру Downwind:	
			length	p (collision)	length	p (collision)
0					1	1
0.05	0.73	3.19	14.45	0.714	12.86	0.635
0.1	0.79	1.6	8.08	0.399	6.36	0.314
0.15	0.88	1.06	6.16	0.304	4.24	0.21
0.2	0.96	0.8	5.21	0.257	3.11	0.154
0.25	1	0.64	4.52	0.223	2.34	0.116
0.3	0.98	0.53	3.88	0.192	1.75	0.086
0.35	0.92	0.46	3.31	0.163	1.3	0.064
0.4	0.85	0.4	2.83	0.14	0.98	0.048
0.45	0.8	0.35	2.81	0.139	1.06	0.053
0.5	0.75	0.32	2.57	0.127	0.94	0.046
0.55	0.7	0.29	2.37	0.117	0.84	0.042
0.6	0.64	0.27	2.17	0.107	0.78	0.039
0.65	0.58	0.25	1.99	0.098	0.83	0.041
0.7	0.52	0.23	1.83	0.09	0.86	0.043
0.75	0.47	0.21	1.7	0.084	0.89	0.044
0.8	0.41	0.2	1.56	0.077	0.89	0.044
0.85	0.37	0.19	1.47	0.072	0.9	0.044
0.9	0.3	0.18	1.32	0.065	0.89	0.044
0.95	0.24	0.17	1.21	0.06	0.88	0.043
1	0	0.16	0.78	0.039	0.78	0.039
Риск столкновения / Collision risk			11.00%		5.80%	
Среднее / Average			8.40%			

год без учёта доли птиц, уклоняющихся от столкновений.

Учитывая среднюю скорость ветра при прохождении орлами Карагаты и средний угол ветра для, как минимум, 50% мигрантов можно говорить об увеличении риска столкновения при прохождении птицами роторов Жанатасской ВЭС в среднем в 2,4 раза (табл. 14).

В свете поправки на ветер на Жанатасской ВЭС можно предполагать ежегодную смертность 1175–1295 мигрирующих орлов (29–32 птиц на турбину в год) без учёта доли птиц, уклоняющихся от столкновений.

2010; New et al., 2015; Hunt et al., 2017). In California, for example, 250 Golden Eagles were tagged near a large wind power plant (142 km²) in 1994–2000, and 88 of them died. Collisions with wind turbines account for 41% of those 88 deaths, most of which were juveniles and non-breeding adults (Hunt et al., 2017).

Applying the “Golden Eagle” indicators of probability of avoiding collisions with wind turbines to other eagle species, we should also understand that this is not a good solution, as the Golden Eagle is much less tolerant of anthropogenic activities than other eagles. Analysis of bird flight zones and their response to economic activity in breeding territories showed that the Golden Eagle has the longest distances of flight zones outside nests and the highest level of avoidance of disturbances on breeding territories, compared to the Greater Spotted Eagle and the Imperial Eagle, the latter of which is most tolerant to disturbance by humans and their economic activity (Karyakin et al., 2017a). Therefore, higher levels of WPP avoidance can be assumed for Golden Eagles than for eagles of other species. Imperial Eagles nest in the most developed human biome, do not avoid anthropogenic objects (in recent years the species is increasingly nesting on poles of high-voltage power lines), and tend to areas with ongoing human economic activity (see Karyakin, 2006b; 2008c; Korepov, Borodin, 2013; Bekmansrov, 2015; Korepov, Stryukov, 2015; Ilyukh, Shevtsov, 2020). This may also be why the levels of WPP and collision avoidance by them may be lower than those of Golden Eagles. The Steppe Eagle may be even worse with regard to avoiding WPP and collisions, as the species began nesting on power lines much earlier than the Imperial Eagle (Karyakin, 2008c). During more than 60 years of power line network development in Eurasia the Steppe Eagle could not identify bird-dangerous structures and avoid them, unlike the Imperial Eagle and the Golden Eagle. As a result, the Steppe Eagle is now among the birds most vulnerable to electrocution on overhead power lines (Karyakin, 2012; Karyakin et al., 2016b) because of large-scale mortality throughout its range (Karyakin, Novikova, 2006; Barbazyuk et al., 2010; Matsyna et al., 2011; Medzhidov et al., 2011; Levin, Kurkin, 2013; Pulikova, Voronova, 2018; Saraev et al., 2019; Shobrak et al., 2021). The species has minimal flight zones and uses artificial structures as perching sites and nesting more often than other eagles (Karyakin et al., 2016b). Such

Табл. 12. Расчёт α и p (столкновения) как функции радиуса для оценки риска столкновения степных орлов с турбинами Жанатасской ВЭС в базовой модели CRM «Band» для следующих параметров: число лопастей – 3, максимальная хорда 4,21 м, шаг 15°, длина птицы – 0,76 м, размах крыльев – 2,11 м, тип полёта – скольжение (+1), доля полётов против ветра – 50%, скорость птицы – 7,22 м/с, радиус ротора – 60,5 м, скорость вращения лопастей – 5 об./мин, период вращения – 12 с, соотношение сторон птицы: $\beta=0,38$, интервал интегрирования – 0,05.

Table 12. Calculation of α and p (collision) as a function of radius to assess the risk of collision of Steppe Eagles with Zhanatas WPP turbines in the basic model CRM “Band” for the following parameters: number of blades – 3, max chord – 4.21 m, pitch – 15°, bird length – 0.76 m, wingspan – 2.11 m, flight type – gliding (+1), proportion of flights upwind – 50%, bird speed – 7.22 m/sec, rotor radius – 60.5 m, rotation speed – 5 rpm, rotation period – 12.00 sec, bird aspect ratio: $\beta=0.36$, integration interval – 0.05.

Radius (r/R)	chord (c/C)	alpha (α)	Против ветра Upwind:		По ветру Downwind:	
			length	p (collision)	length	p (collision)
0				1.000		1.000
0.05	0.73	4.56	20.45	0.708	18.86	0.653
0.1	0.79	2.28	11.24	0.389	9.52	0.330
0.15	0.88	1.52	8.44	0.292	6.52	0.226
0.2	0.96	1.14	7.03	0.243	4.93	0.171
0.25	1.00	0.91	6.02	0.209	3.84	0.133
0.3	0.98	0.76	5.12	0.177	2.98	0.103
0.35	0.92	0.65	4.31	0.149	2.31	0.080
0.4	0.85	0.57	3.66	0.127	1.81	0.063
0.45	0.80	0.51	3.20	0.111	1.46	0.050
0.5	0.75	0.46	2.82	0.098	1.19	0.041
0.55	0.70	0.41	2.50	0.087	0.97	0.034
0.6	0.64	0.38	2.20	0.076	0.80	0.028
0.65	0.58	0.35	2.22	0.077	0.96	0.033
0.7	0.52	0.33	2.02	0.070	0.88	0.031
0.75	0.47	0.30	1.85	0.064	0.83	0.029
0.8	0.41	0.28	1.68	0.058	0.79	0.027
0.85	0.37	0.27	1.57	0.054	0.76	0.026
0.9	0.30	0.25	1.40	0.048	0.78	0.027
0.95	0.24	0.24	1.26	0.043	0.79	0.027
1	0.00	0.23	0.76	0.026	0.76	0.026
Риск столкновения / Collision risk			9.0%		5.0%	
Среднее / Average					7.0%	

Таблицы с расчётом рисками гибели орлов-могильников⁵⁴, степных орлов⁵⁵ и больших подорликов⁵⁶ на Жанатасской ВЭС с поправкой на силу ветра и угол ветра относительно движения птиц доступны в виде дополнительных материалов к статье.

Предположив, что 96% орлов на миграции через Карагату будет уклоняться от лопастей ветрогенераторов (на 1% больше, чем предлагают Band *et al.*, 2007 в качестве

behavioral characteristics of the Steppe Eagle suggest that WPPs will also adversely affect this species, since it will not avoid them, or collision avoidance/evasion rates will be very low.

Another point, that is often behind the scenes in other studies, but strongly affects the ability of birds to evade collisions and, consequently, the mortality rate of birds, is the change in atmospheric conditions. The response of migrants to atmospheric conditions, depends on various internal and external factors (Nathan *et al.*, 2008). During migration, birds pay attention to energy consumption, safety, time spent on migration, and a broad range of other indicators, and the priorities they establish affect their behavioral responses to change of atmospheric conditions, such as choosing a place to stop during a storm, circling it, or flying through it at high altitude (Alerstam, Lindström, 1990; Jenni, Schaub, 2003). The relative importance of these factors and the ability of the bird to adapt accordingly have both ecological and evolution limitations (Shamoun-Baranes *et al.*, 2017) that are not considered in collision risk assessment.

It is obvious that wind speed and direction change the flight behavior of birds and even influence the shifting of migration flows (Vansteelant *et al.*, 2014; Ainley *et al.*, 2015; Yamamoto *et al.*, 2017), and thus affect the risk of collision, so they are included in the basic model of the CRM “Band”. However, the wind analysis uses averaged data that does not account for abrupt changes in wind speed and direction, which becomes relevant when birds are crossing mountains. Our data showed that at the entrance to and exit from mountains, wind speed and direction can vary greatly, which means that the risk of collisions of birds with wind turbines can also vary significantly.

Strong wind impairs the maneuverability of birds in flight (Langston, Pullan, 2003). However, a drop in wind speed can be problematic and carry a collision risk even greater than a high wind speed, as birds lose the ability to use wind energy to evade blades when passing the RSZ (see Barrios, Rodriguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2008; Johnston *et al.*, 2013). The greatest danger for birds may be a sharp decrease in wind speed when the temperature drops, when birds can use neither wind energy, nor ascending flows when passing the RSZ, and for the peak of autumn migration in Karatau this may be a normal condition. For example, in a known Golden Eagle migration corridor in the Rocky Mountains foothills in northeastern British Columbia, USA, the hourly flight rate during autumn migration peaked

⁵⁴ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2021/12/Wind-A-heliaca.xls>

⁵⁵ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2021/12/Wind-A-nipalensis.xls>

⁵⁶ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2021/12/Wind-A-clanga.xls>

Табл. 13. Расчёт α и p (столкновения) как функции радиуса для оценки риска столкновения больших подорликов с турбинами Жанатасской ВЭС в базовой модели CRM «Band» для следующих параметров: число лопастей – 3, максимальная хорда 4,21 м, шаг 15°, длина птицы – 0,68 м, размах крыльев – 1,7 м, тип полёта – скольжение (+1), доля полётов против ветра – 50%, скорость птицы – 7,22 м/с, радиус ротора – 60,5 м, скорость вращения лопастей – 5 об./мин, период вращения – 12 с, соотношение сторон птицы: $\beta=0,40$, интервал интегриации – 0,05.

Table 13. Calculation of α and p (collision) as a function of radius to assess the risk of collision of Greater Spotted Eagles with Zhanatas WPP turbines in the basic model CRM “Band” for the following parameters: number of blades – 3, max chord – 4.21 m, pitch – 15°, bird length – 0.68 m, wingspan – 1.7 m, flight type – gliding (+1), proportion of flights upwind – 50%, bird speed – 7.22 m/sec, rotor radius – 60.5 m, rotation speed – 5 rpm, rotation period – 12.00 sec, bird aspect ratio: $\beta=0.40$, integration interval – 0.05.

Radius (r/R)	chord (c/C)	alpha (α)	Против ветра Upwind:		По ветру Downwind:	
			length	p (collis- on)	length	p (collision)
0				1.000		1.000
0.05	0.73	4.74	19.98	0.666	18.39	0.613
0.1	0.79	2.37	11.03	0.368	9.31	0.310
0.15	0.88	1.58	8.32	0.277	6.40	0.213
0.2	0.96	1.18	6.95	0.232	4.86	0.162
0.25	1.00	0.95	5.97	0.199	3.79	0.126
0.3	0.98	0.79	5.07	0.169	2.93	0.098
0.35	0.92	0.68	4.27	0.142	2.26	0.075
0.4	0.85	0.59	3.61	0.120	1.76	0.059
0.45	0.80	0.53	3.15	0.105	1.41	0.047
0.5	0.75	0.47	2.77	0.092	1.14	0.038
0.55	0.70	0.43	2.45	0.082	0.93	0.031
0.6	0.64	0.39	2.40	0.080	1.01	0.034
0.65	0.58	0.36	2.17	0.072	0.91	0.030
0.7	0.52	0.34	1.96	0.065	0.83	0.028
0.75	0.47	0.32	1.80	0.060	0.77	0.026
0.8	0.41	0.30	1.62	0.054	0.73	0.024
0.85	0.37	0.28	1.50	0.050	0.70	0.023
0.9	0.30	0.26	1.33	0.044	0.69	0.023
0.95	0.24	0.25	1.18	0.039	0.70	0.023
1	0.00	0.24	0.68	0.023	0.68	0.023
Риск столкновения / Collision risk			8.6%		4.7%	
Среднее / Average					6.6%	

общей нормы уклонения), мы снижаем рассчитанный риск гибели мигрирующих орлов на Жанатасской ВЭС до 20–23 особей в год или 0,5–0,6 особей на турбину в год в базовой модели и до 47–52 особей в год или 1,2–1,3 особей на турбину в год в модели с поправкой на скорость и направление ветра. Не совсем ясно, правильно ли считать, что такая доля мигрирующих орлов, из которых значительная часть это первогодки, впервые мигрирующие через Карагай, будет эффективно уклоняться от столкновений, при том, что при встречном

at midday and increased 17% with each 1 km/h increase in wind speed and 11% with each 1°C increase in temperature, while birds largely avoided the collision danger zone at higher wind speeds and higher temperatures (Barrios, Rodriguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2008; Johnston *et al.*, 2013).

When wind speed decreases, orography will have a significant effect on collision risks (see Duerr *et al.*, 2012). As shown for Golden Eagles in the USA, eagles fly at relatively lower altitudes over steep slopes and cliffs (places where orographic lift is more likely to develop) than over plains and smooth slopes (places where thermal lift is more likely to occur) (Katzner *et al.*, 2012; Johnston *et al.*, 2013). Consequently, when wind speeds decrease, wind turbines built in areas of orographic lift may pose the greatest danger to eagles, and the probability of collisions should decrease in proportion to the increase in tailwind speed.

Visibility deterioration during migration may increase the risk of mortality from collisions with wind turbines (Larsen, Guillemette, 2007), but even here it is not so unambiguous. A number of studies have shown that in fog birds compensate for limited visibility and either reduce their time in flight or fly low above the ground (see Moyle, Heppner, 1998; Richardson, 2000; Piersma *et al.*, 2002). Thus there is fog, on the one hand, while in Karatau during the autumn eagle migration, there is usually dusty haze, blown from Moyinkum and Betpakkala by a strong tailwind, decreasing visibility to such an extent that the risk of collision increases even for fixed facilities, such as high voltage power lines, cell towers or wind turbine towers (see APLIC, 1994; 2012; Savereno *et al.*, 1996; Harness *et al.*, 2003; Manville II, 2005; Jenkins *et al.*, 2010; Hüppop, Hilgerloh, 2012; Bernardino *et al.*, 2018; Eccleston, Harness, 2018). On the other hand, stopover on migration during such a period or flying at low altitudes (below the RSZ) can, on the contrary, reduce the risk of collisions.

Taking into account the fact that Karatau is crossed by a large number of immature and sub-adult Steppe Eagles, a correction for the age of birds is also required, which we did not do, because we tracked just the migration of immature and sub-adult birds. At the same time, in the USA by the example of Golden Eagles shows that the tendency to cross ridge-tops (where turbines are located) varied depending on age classes, and immature eagles were almost twice as likely to cross a ridgeline as adult or sub-adult eagles (Johnston *et al.*, 2013). With the accumulation of adult bird

Табл. 14. Риск столкновения орлов 3-х видов с лопастями ветрогенераторов Жанатасской ВЭС при разных углах встречного ветра согласно базовой модели CRM «Band» без поправки на высоту полёта для средней скорости ветра 3 м/с (расчёт согласно методике из: Christie, Urquhart, 2015). Принятые сокращения: AN – степной орёл (*Aquila nipalensis*), AH – орёл-могильник (*Aquila heliaca*), ACL – большой подорлик (*Aquila clanga*).

Table 14. Risk of collision of eagles of 3 species with blades of wind generators of Zhanatas WPP at different angles of headwind according to the basic model CRM "Band" not adjusted for the flight altitude for average wind speed of 3 m/s (calculation according to the methods from: Christie, Urquhart, 2015). Abbreviations: AN – Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), AH – Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), ACL – Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*).

Угол встречного ветра (в градусах) Angle to head wind (deg)	Риск столкновения с лопастями ветрогенератора (в %) Collision risk (%)		
	AH	AN	ACL
0	17.4	17.2	16.4
5	17.4	17.2	16.4
10	17.3	17.1	16.3
15	17.1	16.9	16.1
20	16.8	16.6	15.8
25	16.4	16.3	15.5
30	16.0	15.8	15.0
35	15.5	15.4	14.5
40	15.0	15.0	14.0
45	14.6	14.7	13.6
50	14.3	14.4	13.2
55	14.1	14.3	12.8
60	13.9	14.2	12.6
65	13.8	14.1	12.4
70	13.7	14.0	12.2
75	13.6	13.9	12.0
80	13.5	13.8	11.8
85	11.4	11.5	10.6
90	2.9	3.0	2.5
95	11.1	11.2	10.1
100	11.5	11.8	9.8
105	10.5	10.8	8.9
110	9.7	10.0	8.2
115	9.1	9.4	7.7
120	8.6	8.9	7.3
125	8.2	8.4	7.0
130	7.8	8.0	6.7
135	7.5	7.7	6.5
140	7.2	7.3	6.2
145	6.9	7.0	6.0
150	6.5	6.6	5.8
155	6.2	6.3	5.5
160	6.0	6.0	5.4
165	5.7	5.8	5.2
170	5.5	5.6	5.1
175	5.4	5.4	5.0
180	5.3	5.3	4.9

tracking data, it will be possible to make adjustments in collision risk according to the age of the eagles.

When birds pass the WPP in Karatau, sex selection is also possible. As already shown by studies in Israel (Spaar, 1997) and our data, heavier birds fly faster and have smaller gliding angles, which means that female eagles are more vulnerable when passing through the RSZ and have higher collision probability rates.

At present, very few studies have been published that analyze the influence of different types of wind turbines on the frequency of bird collisions with the blades of these turbines (see Thelander *et al.*, 2003; Smallwood, Thelander, 2004; de Lucas *et al.*, 2008), here-with, there are virtually no studies that include large towers of the modern type with large rotors, which differ from the older ones by their slower rotation speed. In the Netherlands, according to the results of a 3-month study during autumn and winter period, the death rate of birds on new generation turbines (1.65 MW) with large blade areas was 0.08 individuals (from 0.05 to 0.19), and the number of dead birds compared to the total number of birds flying over the WPP was 0.14% on average; for previous generation turbines, the collision risk was 0.06–0.28%. The authors concluded that the turbines of the new generation have technical characteristics that threefold reduce the level of negative impact on birds (Krijgsfeld *et al.*, 2009). At the same time, it is worth noting that the country lies outside the main migration corridors and there are no concentrations of large soaring birds of prey. Therefore, it is difficult to compare the mortality reduction in this study with the territories through which eagles migrate. At the same time, studies in California (USA) showed that the mortality rate of birds and bats was constant per unit of energy produced regardless of size of turbines and distance between them (Huso *et al.*, 2021), and analysis of data for the continental United States showed that mortality increased with increasing turbine hub height (Loss *et al.*, 2013). Therefore, we can only guess how the use of new turbines in the Karatau WPP will affect the ability of eagles to evade collisions. On the one hand, with low rotor speeds, birds have more time to safely pass through the RSZ. On the other hand, large turbines create more turbulence, which makes it difficult for birds to maneuver through a RSZ, and in strong winds we cannot exclude the possibility of barotrauma or contusions, about which there is no published information in the case of birds at all (Shkadyuk, 2018), but about half of the bats on the wind

и боковом ветре у орлов меньше возможностей для манёвра при проходе через ЗДР ВЭС, построенной в зоне набора орлами высоты.

Как было показано выше, через Карагатай 26,61% орлов мигрируют при боковом ветре (61–120°) и 20,34% – при встречном и встречно-боковом ветре (121–180°) (см. рис. 19), но в зоне Жанатасской ВЭС лишь 14,29% орлов мигрировало при ветре, отличном от попутного. Значит к группе птиц, вероятность уклонения от столкновений в которой может стремиться к 96%, следует относить только 85,71% орлов, а для орлов, мигрирующих в более нестабильных условиях, вероятность уклонения от столкновений считать как минимум в 2 раза ниже.

Таким образом, минимальная вероятность гибели орлов на Жанатасской ВЭС в результате столкновения птиц с лопастями ветрогенераторов, при учёте высоты полёта птиц, направления и скорости ветра, а также способности птиц уклоняться от лопастей или вообще обходить турбины на значительном расстоянии, оценивается в диапазоне от 55 до 61 особи в год или 1,38–1,53 особей на турбину в год (табл. 15).

farm die precisely because of barotrauma (Grodskey et al., 2011). On the one hand, large turbines are located farther from each other and the bird has more space to fly between them, evading the RSZ. On the other hand, spreading the turbines out over a greater distance reduces the level of avoidance by birds of flights through the WPP, rather than when less powerful and lower turbines stand more densely. This means that more birds will try to fly between the larger turbines than bypass them, which we actually see in the example of Steppe Eagles, which means that any side wind drifts will put more birds at risk of being pulled into the RSZ. Against the background of these considerations, it becomes clear that the real coefficient of evasion of birds from collisions with the blades of wind generators should be calculated for specific WPPs.

Many unaccounted-for factors can increase and decrease both the probability of collision risk and the probability of a bird evading collisions with rotor blades. Factors that reduce the probability of collision avoidance are found to be significantly more common in Karatau conditions than those that would increase bird collision avoidance probability

Табл. 15. Оценка риска столкновений орлов с ветровыми турбинами Жанатасской ВЭС с учётом коэффициента уклонения от столкновения.

Table 15. Risk assessment of collisions of eagles with wind turbines of Zhanatas WPP, taking into account the collision avoidance factor.

Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)* Collisions for entire windfarm (birds per month)*	Месяц / Month												В течение года Per annum
	Янв Jan	Фев Feb	Март Mar	Апр Apr	Май May	Июнь Jun	Июль Jul	Авг Aug	Сент Sep	Окт Oct	Ноя Nov	Дек Dec	
<i>Вариант 3 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полёта</i> <i>Option 3 – Advanced model using flight height distribution</i>													
Орёл-могильник (<i>Aquila heliaca</i>) Eastern Imperial Eagle	0	1	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	5
Степной орёл (<i>Aquila nipalensis</i>) Steppe Eagle	0	0	3	4	0	0	0	3	3	4	0	0	17
Большой подорлик (<i>Aquila clanga</i>) Greater Spotted Eagle	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Все орлы / All eagles	0	1	5	5	0	0	0	3	4	5	0	0	23
<i>Вариант 4 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полёта, направления и скорости ветра</i> <i>Option 4 – Advanced model using flight height distribution, wind direction and speed</i>													
Орёл-могильник (<i>Aquila heliaca</i>) Eastern Imperial Eagle	0	2	4	3	0	0	0	0	0	2	0	0	11
Степной орёл (<i>Aquila nipalensis</i>) Steppe Eagle	0	0	10	12	1	0	0	8	7	9	1	0	48
Большой подорлик (<i>Aquila clanga</i>) Greater Spotted Eagle	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Все орлы / All eagles	0	2	14	15	1	0	0	8	9	11	1	0	61

Примечания / Notes:

* – учитывая время простоя 24,2% в год / allowing for non-op time 24.2% per year

В различных источниках имеется информация о разработке других ВЭС на Карагату и в ближайших окрестностях (Трофимов, 2012; Упушев, Болатбек, 2012), которые лежат в ЗЦГМК, и неизвестно на какой стадии разработки они находятся. Так, например, АО КАЗНИПИИТЭС «ЭНЕРГИЯ» был разработан проект ВЭС на площадке «Шокпар» в Жамбылской области мощностью 109 МВт, в котором планируется установка ветрогенераторов типа E82 E2/S/83/5K/01 и E82 E3/S/83/5K/01, изготовленных компанией «Enercon GmbH», которые имеют номинальную мощность 3 кВт, высоту башни 83 и общую высоту порядка 125,5 м (АО КазНИПИИТЭС..., 2017). Институтом «Казсельэнергопроект» при поддержке ПРООН разработан проект ВЭС Жузумдык в Байдибеском районе Южноказахстанской области, а также подобраны 2 альтернативные площадки для ВЭС в 35 км к северо-востоку от п. Жузумдык в горах Карагату и близ с. Састобе в междуречье рек Арыс и Жыланды на южном макросклоне Карагату, где предлагается установка 25 турбин Vestas NM82 номинальной мощностью 1650 кВт и высотой оси ротора 80 м (UNDP Kazakhstan, 2008). Также этим же институтом по заказу ТПФ «НАР» в 2011 г. был разработан проект ВЭС Байдибек-1 (210 МВт), в рамках которого на площадке в Карагату предполагается установить 70 ветроагрегатов компании «Vestas» модель V112-3.000/3MW/94m мощностью 3 МВт каждый (ВЭС Байдибек-1..., 2021).

Если эти проекты будут реализованы, то совокупная гибель орлов на турбинах ВЭС в Карагату может возрасти до диапазона 165–183 особей в год. И если гибель птиц в реальности будет существенно выходить за пределы указанного диапазона по причине низкой доли уклоняющихся от столкновения или избегающих ВЭС первогодок, то в дальнейшем количество гибнущих орлов будет сокращаться по причине элиминации птиц, мигрирующих в данном миграционном коридоре, и, как следствие, сокращения численности гнездовых группировок, ассоциированных с этим миграционным коридором. В первую очередь под угрозу попадут именно казахстанские популяционные группировки степного орла на юго-востоке Казахстана и популяционные группировки орла-могильника в Центральном и Восточном Казахстане в виду своей низкой численности и минимального числа молодых птиц, встречающихся в них на летних кочёвках и обеспечивающих популяционный резерв для



Ветротурбина Goldwind.

Foto Xinjiang Goldwind Science & Technology Co., Ltd.

Wind turbine Goldwind. Photo from Xinjiang Goldwind Science & Technology Co., Ltd.

when passing through the RSZ or bypassing the WPP altogether. Therefore, we decided to accept a compromise solution as 96% for collision avoidance rate and believe it is more correct than the high avoidance rates obtained for Golden Eagles in Scotland.

It is possible that our risk assessment of eagle mortality at the Zhanatas WPP ranging from 55 to 61 individuals per year (1.38–1.53 individuals per turbine a year and 0.09–1.0% of the number of individuals flying through Karatau), considering wind speed and direction and the possibility of birds collision avoidance at around 96% may be overstated, especially for a WPP with a 1-line turbine distribution. For now, however, this is the only assessment based on data modeling on visual observations of migration and eagle tracking using trackers with a large number of unassessed probabilities. In the future, if additional data becomes available, it may be adjusted and we would like it to be overstated, not the other way around.

восстановления расформированных гнездовых пар.

Учитывая тенденцию дальнейшего развития ветроэнергетики в Юго-Восточном Казахстане, и на Карагату в том числе, нами было подготовлено зонирование Карагату для целей экспресс-оценки возможного влияния ВЭС на орлов (рис. 27). Зонирование сделано по совокупности данных о миграции орлов на базе сеточного картирования и анализа плотности треков птиц, прослеживаемых с помощью ARGOS/GPS-трансмиттеров и GPS/GSM-трекров (см. рис. 11), а также на основе минимальной вероятности столкновения с турбинами при средних показателях полётных параметров орлов в данных зонах, с поправкой на скорость ветра и уклонение от столкновений (см. табл. 10–13), для турбин, аналогичных тем, которые используются в Жанатасской ВЭС: зона 1 – риск столкновения от 0,8 до 1,3 орлов на турбину в год, зона 2 – риск столкновения от 1,4 до 1,6 орлов на турбину в год, зона 3 – риск столкновения от 1,7 до 2 и более орлов на турбину в год. Строительство лопастных ВЭС в зоне 3 предполагает катастрофические

In the US windpower production complex as a whole, raptor mortality is estimated at 0.006 individuals per turbine a year (Erickson et al., 2001). Other data range from 0 to 0.15 deaths per MW a year (Johnson, Stephens, 2011), but the calculation includes large numbers of WPP constructed outside raptor habitat even during migration periods. Looking only at California WPP, bird of prey mortality rates range from 0.007 (Howell, DiDonato, 1991 – 150 turbines in the study) to 0.1 individuals per turbine a year (Thelander, Rugge, 2000a; 2000b; Thelander pers. data from Erickson et al., 2001 – 785 turbines in the study), while in Altamont Pass the bird of prey mortality rate is 47.6% according to combined data from 1991–2000 (Howell, Didonato, 1991; Howell et al., 1991; Orloff, Flannery, 1992; 1996, Howell, 1997; Thelander, Rugge, 2000a; 2000b; Erickson et al., 2001). Nevertheless, there are WPPs with increased bird mortality, for example, for several WPPs in 1999–2001, the average mortality rate was 1.29 individuals per turbine a year (Howe et al., 2002). The San Gorgonio Pass WPP (USA), which has 3200 turbines and through which about 69 million birds fly during migration, has a mortality rate of 0.04 individuals per turbine a year (Orloff, Flannery, 1992). At the same time, these low mortality rates for such number of turbines just may be caused by their dense arrangement and, as a consequence, are bypassed by birds.

In Spain, with the number of birds observed in the WPP area comparable to that in Karatau, mortality rates are significantly lower than 1 dead bird per turbine a year. For example, in the WPP area of Tarifa (in Andalusia) with a rather high abundance of Griffon Vultures in the WPP area (0.36–125.91, average 8.88 individuals/km), Short-Toed Eagles (*Circaetus gallicus*) (0–16.11, average 0.92 ind./km), and Black Kites (*Milvus migrans*) (0–1111.12, average 25.94 ind./km), the average number of dead birds of prey was 0.03 individuals per turbine a year (de Lucas et al., 2004). At another Spanish station the death rate of birds of different species was 0.41 cases per turbine a year (Lowther, 2000). In northern Spain, where bird count and search for dead birds were carried out in 2000–2002 in 37 territories containing 277 turbines, 1853 bird observations in the RSZ accounted for 33671 registrations of griffon vultures and 227 birds died from collisions, which was 0.27 deaths per turbine a year; and eagle registrations were minimal and, consequently, their deaths at RSZ were also minimal (Lekuona, Ursúa, 2007). In the area of the Strait of Gibraltar, through which there is the

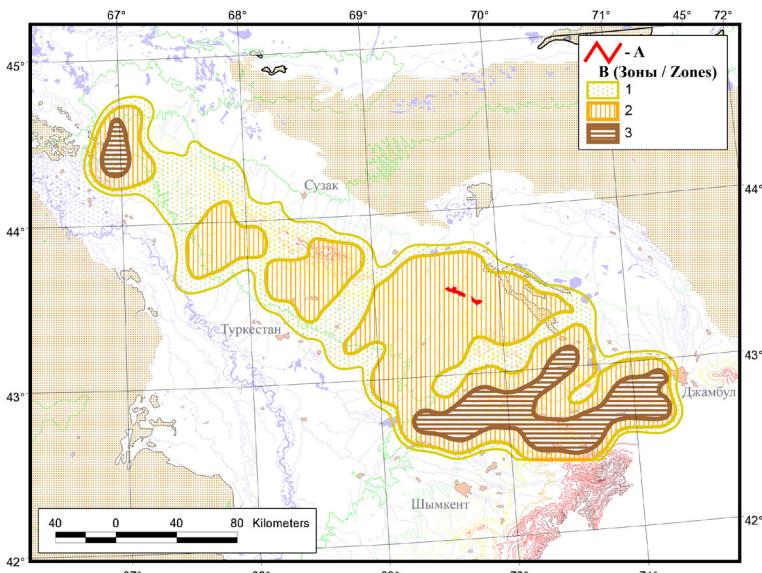


Рис. 27. Зонирование Карагату в соответствии с риском гибели в результате столкновения с лопастными ветрогенераторами орлов 3-х видов (орёл-могильник, степной орёл и большой подорник), мигрирующих через Карагату в Западном Циркум-Гималайском миграционном коридоре. Условные обозначения: А – Жанатасская ВЭС, В – зоны риска столкновения орлов с ВЭС: зона 1 «опасная» – риск столкновения от 6 до 11 орлов на турбину в год, зона 2 «очень опасная» – риск столкновения от 12 до 15 орлов на турбину в год, зона 3 «критическая» – риск столкновения от 16 до 33 орлов на турбину в год.

Fig. 27. Zoning of Karatau according to the risk of mortality due to collision with bladed wind generators of eagles of 3 species (Imperial Eagle, Steppe Eagle and Greater Spotted Eagle) migrating through Karatau in the Western Circum-Himalayan Migration Corridor. Legend: A – Zhanatas WPP, B – risk zones of eagle collision with WPP: zone 1 “dangerous” – risk of collision from 6 to 11 eagles per turbine a year, zone 2 “very dangerous” – risk of collision from 12 to 15 eagles per turbine a year, zone 3 “critical” – risk of collision from 16 to 33 eagles per turbine a year.

последствия для некоторых популяций орлов, мигрирующих в ЗЦГМК, даже при минимальной оценке риска столкновений с учётом большой доли уклоняющихся птиц или птиц, избегающих пролёты через ВЭС.

Также на основе карты распределения точек ночёвок и многодневных остановок орлов во время осенней и весеннеей миграций через Карагату (см. рис. 12) были построены карта плотности остановок (рис. 28–K1), на основе которой выделены зоны (рис. 28–K2), в которых нежелательно (зона 1) и недопустимо (зона 2) строить ВЭС по ряду причин. Первая причина – риск потери местообитаний, в которых орлы совершают остановки. Вторая причина – увеличение риска столкновений из-за более частых посадок и взлётов орлов во время остановок, которые увеличивают частоту прохождения птиц через опасную высотную зону работы роторов ВЭС. Обе причины являются взаимоисключающими,

mass migration of birds of prey from Europe to Africa, the death rate from collisions with turbines was higher than on power lines, and the losses were mostly to local birds, mainly the Griffon Vulture (0.15 individuals per turbine a year) and the Common Kestrel (*Falco tinnunculus*) (0.19 individuals per turbine a year), since the main flow of migrants was outside the WPP (Barrios, Rodríguez, 2004).

However, a number of studies of WPP designed in an area where other nonpredatory species are concentrated clearly show that the death rate can reach high limits, depending on the location, number and status of birds in the area. For example, in Belgium in 2004–2005, death rate of birds at offshore wind power plants ranged from 27.6 to 34.3 individuals per turbine a year, and on land in the coastal zone – from 3.9 to 7.3 individuals per turbine a year; the collision probability of Common Terns (*Sterna hirundo*) crossing the wind turbine line was 0.110–0.118% for flights at rotor height and 0.007–0.030% for all flights, and of Sandwich Terns (*Sterna sandvicensis*) was 0.046–0.088% for flights at rotor height and 0.005–0.006% for all flights (Everaert, Stienens, 2007). Similarly high death rates at coastal wind power plants near Oosterbierum are cited by Winkelman (1992): 2.4–56.2 individuals per turbine a year for large birds and 2.1–63.8 individuals per turbine a year for Passeriformes. Estimates of bird mortality from wind turbine collisions in Canada from counts

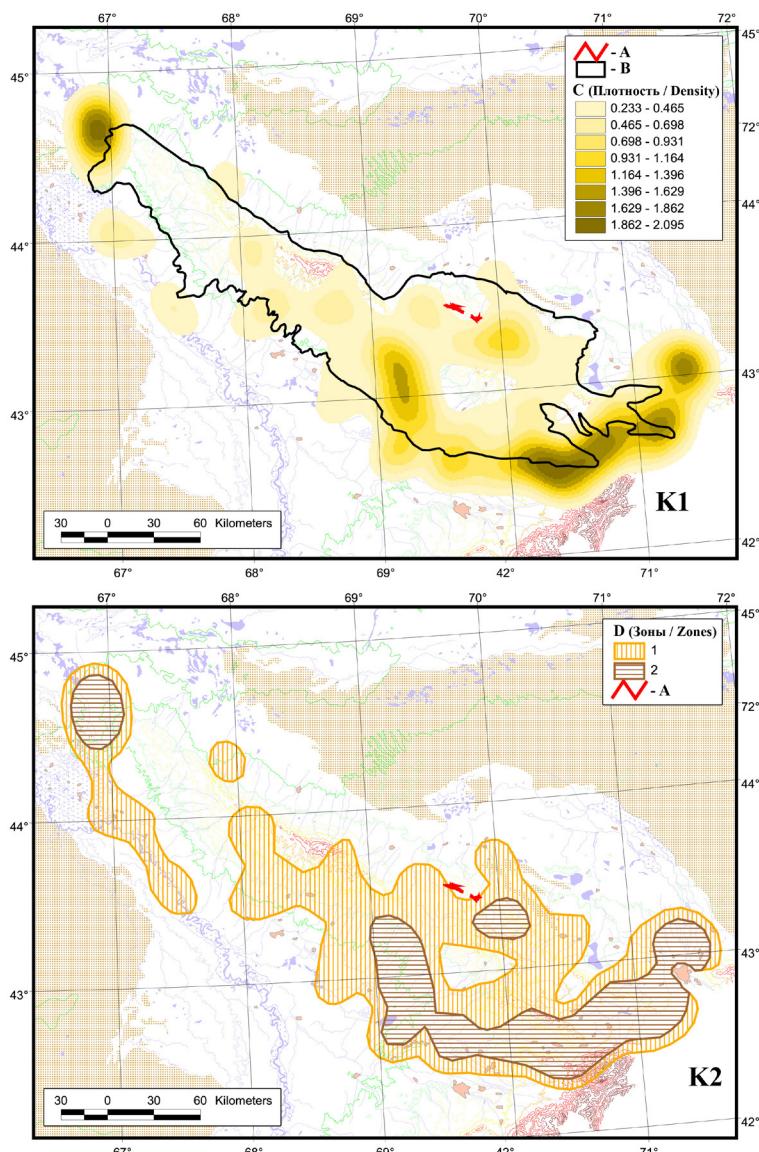


Рис. 28. Карта плотности остановок орлов (K1) и зонирование Карагату (K2) в соответствии с риском потери «стоповых» местообитаний и возрастания риска столкновений орлов 3-х видов (орёл-могильник, степной орёл и большой подорлик), мигрирующих через Карагату в Западном Циркум-Гималайском миграционном коридоре. Условные обозначения: А – Жанатасская ВЭС, В – Карагату, С – плотность точек остановок орлов, D – зоны риска потери местообитаний и возрастания риска столкновений: зона 1 – риск потери местообитаний и возрастания риска столкновений умеренный, строительство ВЭС нежелательно, зона 2 – риск потери местообитаний высокий, возрастание риска столкновений более чем 4-кратное, строительство ВЭС недопустимо.

Fig. 28. Map of eagle stopover density (K1) and zoning of Karatau (K2) according to the risk of loss of “stopover” habitats and increasing risk of collisions of eagles of 3 species (Imperial Eagle, Steppe Eagle and Greater Spotted Eagle) migrating through Karatau in the Western Circum-Himalayan Migration Corridor. Legend: A – Zhanatas WPP, B – Karatau, C – density of eagle stopover points, D – zones of habitat loss risk and collision risk increase: zone 1 – moderate risk of habitat loss and collision risk increase, WPP construction is ill-advised, zone 2 – high risk of habitat loss, collision risk increase more than 4 times, WPP construction is unacceptable.

но какая из них будет доминировать при строительстве ВЭС в выделенных зонах зависит от множества непрогнозируемых факторов (см. обсуждение).

ЗЦГМК пересекает практически перпендикулярно, как минимум, 3 ветровых коридора с преобладающей в них скоростью ветра выше 5 м/с, что делает эти ветровые коридоры перспективными для строительства ВЭС – это юго-запад Калбы, Прибалхашье и Карагату (см. Parsons ..., 2009; Badger *et al.*, 2021). Во всех ветровых коридорах ситуация с миграцией орлов одинаковая, поэтому при дальнейшем развитии ВЭС в этих ветровых коридорах угроза орлам будет только возрастать.

Обсуждение

В настоящее время, несмотря на значительное число публикаций, описывающих перемещения птиц на миграциях, остаётся множество неизвестных факторов, определяющих выбор мигрантами маршрутов, а также влияющих на характер перемещения птиц по этим маршрутам.

Интереснейшим районом в плане изучения миграций хищных птиц и получения сведений по выше озвученным задачам является ЗЦГМК. Так как этот миграционный коридор лежит вне зоны активных исследований зарубежных орнитологов, то он остаётся «белым пятном» (Prins, Namgail, 2017). Отсюда до последнего времени не было никаких сведений о параметрах миграции, полученных новейшими средствами (например, GPS/GSM-прослеживанием), до сих пор не ведётся исследований с помощью радаров и даже отсутствуют какие-либо системные визуальные наблюдения за миграцией на современном уровне, подобные тем, которые ведутся в Грузии (Vansteelant *et al.*, 2014; 2020; Wehrmann *et al.*, 2019) или в Непале (Gurung *et al.*, 2004; 2019; 2020; deCandido *et al.*, 2013; Subedi *et al.*, 2017).

Наши исследования миграции орлов проливают небольшой свет на параметры перемещения нескольких видов в ЗЦГМК. Вместе с результатами прослеживания черноухих коршунов (*Milvus migrans lineatus*) (см. Kumar *et al.*, 2020; Literák *et al.*, 2021) они создают определённый задел в изучении параметров миграции хищных птиц в этой части Евразии.

Уже очевидно, что в отличие от более лёгких коршунов, по своим полётным характеристикам занимающих промежуточное положение между ястребами и орлами (см. Spaar, 1997), орлы предпочитают двигаться в обход высокогорий и стараются

at 43 WPPs ranged from 0 to 26.9 birds per turbine per year, averaging 8.2 ± 1.4 birds per turbine a year, with no significant differences in estimated mortality per turbine between Canadian provinces (Zimmerling *et al.*, 2013).

The review shows a huge variation in the death rate of birds of different species at WPP, including birds of prey. Unfortunately, it is impossible to compare our estimate of expected bird mortality at Zhanatas WPP with actually established mortality of eagles at WPP structures similar to it, because Karatau conditions are unique, and there are few Steppe Eagles and Imperial Eagles flying in the migration corridors between Europe and Africa. Lesser Spotted Eagles (*Aquila pomarina*) flying there en masse, judging by observations in Israel (Shamoun-Baranes *et al.*, 2003) and Egypt (I.V. Karyakin, pers. data), pass over mountains at much higher altitudes (up to 500–1500 m according to Shamoun-Baranes *et al.*, 2003), in a range comparable to that of scavengers (de Lucas *et al.*, 2004), and thus more effectively avoid collisions with wind generators than Steppe Eagles and Imperial Eagles do transiting the Western Circum-Himalayan Migration Corridor.

In our study, visual observations also showed a higher range of flight of Greater Spotted Eagles than of Steppe Eagles and Imperial Eagles, but observations of migrating Spotted Eagles were insufficient to determine a reliable difference. However, in terms of data on the flight altitude of a closely related species, the Lesser Spotted Eagle, it can be assumed that the higher flight altitude of Greater Spotted Eagles than Steppe or Imperial Eagles during migration is not an artifact of observations, but similar to that of Lesser Spotted Eagles, which means this species avoids collisions with WPP better than other eagles.

The variability of bird death rates because of collision with turbine blades within the same WPP can be more than twice as large as the rates variation between different WPPs. That is, the number of dead birds can be high at one turbine, while neighboring turbines that are seemingly identical do not harm birds, which means that the location of turbines in the landscape plays an important role in producing mortality from collisions with blades (Barrios, Rodríguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2012a). However, given the lack of such studies in Kazakhstan, we did not consider the possible difference between turbines in the risk assessment, averaging the probable death rates for each turbine. At the same time, guided by the tracks of eagles passing through Zhanatas WPP (see fig. 24), we can assume that turbines in the eastern sector of the WPP

обходить даже Заилийский и Таласский Алатау, Киргизский хребет и все западные хребты Памиро-Алая. Весьма вероятно, что в основе этого явления лежит низкая ветровая нагрузка на предгорные территории, обусловленная топографией и движением воздушных масс. В предгорьях формируются мощные термики, образующие восходящие потоки, скатывающиеся на подгорную равнину, где образуется резкая граница между зонами с низкой и высокой скоростями ветра, определяющая ось ЗЦГМК (рис. 29).

У птиц имеется тесная связь между полётным поведением и морфологией крыльев. Нагрузка на крылья и соотношение сторон определяют возможность птиц использовать энергию ветра. Так, например, в исследованиях морских птиц частота полёта при встречном ветре и частота полёта при попутном ветре в значительной степени коррелировали с нагрузкой на крыло и

will kill more eagles than turbines in the western sector, although the possibility of evading the blades when eagles pass through the western sector will be lower, because the turbines stand in two rows.

In fact, eagles flew through the eastern sector of Zhanatas WPP during autumn migration mainly in a light tailwind at an angle of 120–140° to the axial region of the ridge at dangerous heights, and this nature of migration increases the risk of collisions at low temperatures, which we did not consider. For example, observations in craggy mountains showed that during autumn migration, Golden Eagles were more likely to cross ridges at turbine heights (risk zone <150 m above ground) in a headwind or tailwind, but this probability decreased with temperature increase; on the contrary, during spring migration, eagles were more likely to move within the ridge top in an easterly crosswind (Johnston et al., 2013).

When data on the actual mortality of birds at turbines of Zhanatas WPP become available, it will be possible to analyze this mortality relative to topography and environment temperature at different turbines and differential modeling of mortality rate.

Another issue related to WPP network development in Karatau is habitat disturbance, the results of which eagles may lose stopover resting places during migrations while seeking to avoid WPPs. The problem of loss of territories optimal for migration by their topographic characteristics also remains understudied. The habitat loss resulting from WPP network development was considered to be relevant mainly for gallinaceous birds (Robel et al., 2004; Leddy et al., 1999; Pruett et al., 2009; Zeiler, Grünschachner-Berger, 2009; Dusang, 2011; Grünschachner-Berger, Kainer, 2011; Hagen et al., 2011; Brunner, Friedel, 2019). However, a study of migrating kites in Spain has shown that the impact of wind power

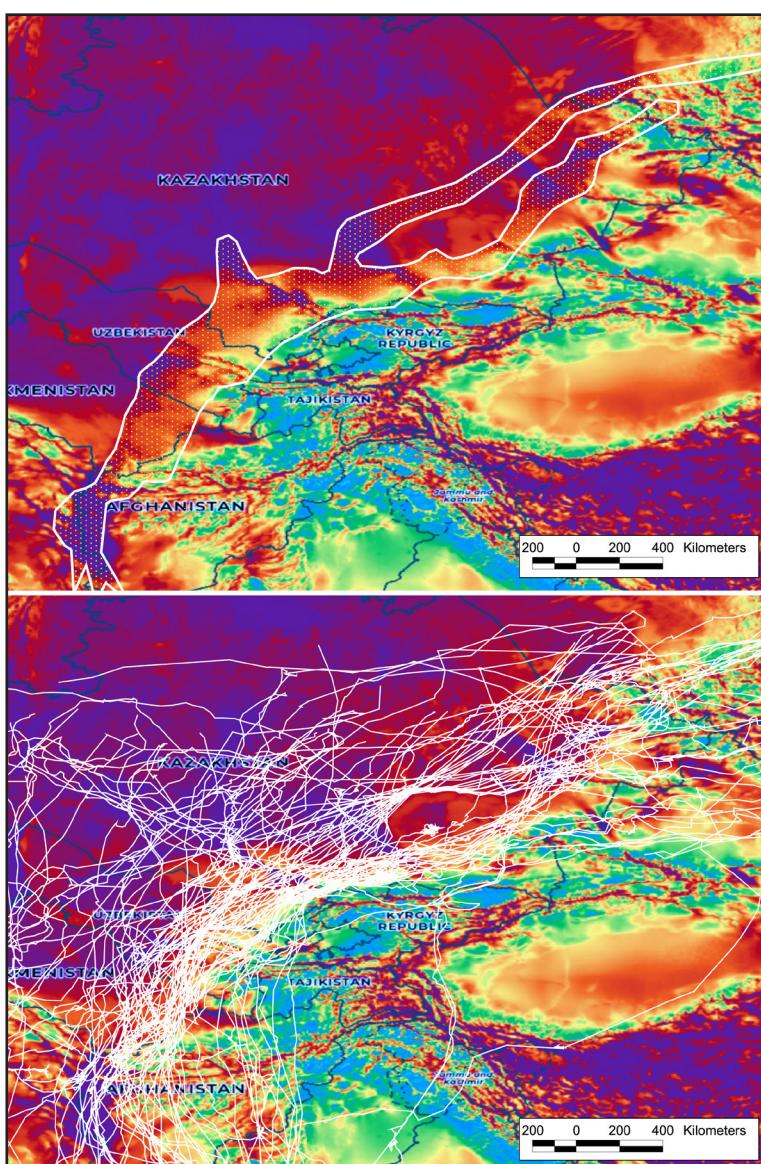


Рис. 29. Карта ветров на высоте 200 м над землёй из Global Wind Atlas version 3.0 (Badger et al., 2021) с треками степных орлов, орлов-могильников и больших подорликов из Алтая-Саянского региона и Центрального Казахстана (внизу) и границей миграционного коридора согласно данным по плотности треков орлов (вверху).

Fig. 29. Map of winds at 200 m above ground from Global Wind Atlas version 3.0 (Badger et al., 2021) with tracks of Steppe Eagles, Imperial Eagles and Greater Spotted Eagles from the Altai-Sayan Region and Central Kazakhstan (bottom) and boundary of the migration corridor according to eagle track density data (top).

его удлинением; виды с более высокой нагрузкой на крыло и удлинением крыла чаще летали при встречном ветре и реже – при попутном, напротив, доля видов среди крупных птиц, летающих с попутным ветром, значительно увеличивалась с увеличением нагрузки на крыло (Spear, Ainley, 1997).

Сравнение стилей и параметров полёта перелётных хищных птиц в Израиле показало, что скорость подъёма в термиках не различалась у разных видов, что указывает на то, что в основном сила восходящих тепловых потоков определяла скорость подъёма, а морфологические особенности были менее значимыми, но уже при межтермическом планировании скорость воздуха положительно, а угол планирования отрицательно зависели от средней массы тела птиц; в парящем и планирующем полёте скорость по пересечённой местности относительно воздуха была положительно связана с массой тела (Spaar, 1997). Таким образом, способность птиц к скольжению увеличивается с увеличением массы тела и чем тяжелее орёл, тем он охотнее будет выбирать для миграции тот путь, на котором крупные восходящие потоки смогут обеспечивать длительное скольжение.

Именно поэтому степные орлы, имеющие более длинное крыло, чем орлы-могильники, но более лёгкие, проходят Карагату в достаточно широком диапазоне, а орлы-могильники летят в более узком диапазоне, преимущественно через Чок-пак, выбирая наиболее оптимальные орографические условия, подобно беркутам в Аппалачах, концентрирующихся в районах, вызывающих орографические подъёмы (Dennhardt et al., 2015).

Перемещаясь в миграционном коридоре, хищные птицы-парители используют обычно два типа восходящих потоков: (а) орографический подъём, возникающий в результате отклонения горизонтальных ветров по наклонной местности и (б) тепловой подъём, образующийся в течение дня из-за нагрева поверхности суши солнечной радиацией (Kerlinger, 1989). Парители используют орографический подъём, чтобы набрать высоту (часто небольшую) и далее скользить вниз в желаемом направлении, и так чередуют подъёмы со скольжениями, перемещаясь вдоль горных хребтов, богатых орографическими подъёмами (Bohrer et al., 2012; Katzner et al., 2012; 2015; Johnston et al., 2013). В случае теплового подъёма парящие птицы обычно забираются достаточно высоко в термики, используя круговую траекторию,

on gliding birds is greater than previously thought, and deaths due to collisions are not the only factor negatively affecting migrants – avoidance of WPP by birds of prey also results in loss of habitat in migration corridors, which can have long-term negative population results (Marques et al., 2020). Thus, on the one hand, avoidance reduces the risk of collisions, on the other hand, birds avoiding WPPs lose favorable places for flight and stopover and, accordingly, fly and stop over in suboptimal places, which reduces their survival on migrations. The last factor remains unstudied, its influence on eagles is unknown and it is difficult to predict, as is the level of avoidance of WPPs by eagles.

Avoidance of territories after construction of WPP has been proven for various species, in particular the Black Kite (*Milvus migrans*) (Ferrer et al., 2012; Marques et al., 2020). A study in Wisconsin (USA) conducted before and after the construction of WPP showed that after construction the abundance of birds of prey decreased by 47% compared to pre-construction levels, and flight behavior varied by species, but most birds flew at least 100 m from the turbines and above the RSZ; Turkey Buzzards (*Cathartes aura*) and Red-Tailed Buzzards (*Buteo jamaicensis*) were more likely than all other birds of prey to exhibit collision risk behavior, but they also showed signs of collision avoidance, and buzzards nevertheless died at WPPs (Garvin et al., 2011). At the same time, there was no evidence of avoidance by Northern Harrier (*Circus hudsonius*) in studies at several wind power plants (Kerlinger, 2002; Schmidt et al., 2003), but another study showed turbine avoidance by harriers the year after WPP construction (Johnson et al., 2000). Studies of a closely related species, the Hen Harrier (*Circus cyaneus*) in Northern Ireland suggest that wind turbines are not avoided by birds on hunting grounds, but localized shifting of nesting territories may occur in the area up to 300 m around turbines (data by NaturalResearch from: Madders, Whitfield, 2006). A number of studies on avoidance of WPPs by Golden Eagles were conducted in the USA, but the results were contradictory. In one study, the authors compared eagle movements in the WPP and in an undisturbed area outside the WPP and found no difference (Schmidt et al., 2003), and in another study, before and after WPP construction, they also showed no reliable levels of eagle avoidance of the WPP area after construction (Johnson et al., 2000). A large WPP at Altamont Pass in California showed some eagle avoidance of the WPP relative to an undisturbed territory



Степной орёл, летящий вдоль склона горы и использующий орографический подъём.
Foto И. Каракина.

Steppe Eagle flying along the mountain side and using orographic uplift.
Photo by I. Karyakin.

от которой они линейно скользят к следующему термику (Kerlinger, 1989; Katzner *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2017). Из-за таких особых требований парящие птицы имеют тенденцию перемещаться по участкам с высоким потенциалом термиков, коими и являются миграционные коридоры (Dennhardt *et al.*, 2015). При этом отмечено, что во время миграции, когда термики недоступны, орлы (в данном исследовании беркуты) минимизируют время миграции, а не энергию, выбирая более энергозатратный полёт вдоль склона вместо ожидания появления термиков (Duerr *et al.*, 2012), т.е. они стремятся к поиску мест орографического подъёма, перемещаясь через места его возникновения. Орографический подъём особенно полезен для мигрантов, когда формируется на горных хребтах, ориентированных в направлении миграции (Dennhardt *et al.*, 2015; Kerlinger, 1989; Marques *et al.*, 2020). Но если хребты ориентированы поперёк миграции, то в параметры миграции особенно сильно вмешивается ветер, как это, например, происходит в США, где в горах с хребтами, направляющими миграцию, орлы летят в основном при боковом ветре (Johnston *et al.*, 2013; Katzner *et al.*, 2015; 2016).

В полёте при попутном ветре и при парении энергозатраты парителей почти такие же низкие, как во время отдыха на присаде или гнезде (Weimerskirch *et al.*, 2000; Mandel *et al.*, 2008; Sakamoto *et al.*, 2013). Это, в свою очередь, может ограничивать направления, в которых динамично парящие птицы могут эффективно перемещаться через горные препятствия в миграционном коридоре. Следовательно, они должны оптимизировать свои стратегии миграции путём компромисса между знаниями о местоположении и качестве русла пролёта и текущей ветровой нагрузкой, которая варьирует во времени, изменяясь не только от сезона к сезону, но и

(Hunt *et al.*, 1995), but after nearly 10 years a tendency toward increased use of the WPP area by birds of prey was recorded, while the authors specifically noted that any avoidance by birds of prey of WPP previously recorded was no longer observed (Smallwood, Thelander, 2004). In contrast to these data, there is evidence of avoidance of the area by territorial Golden Eagles after the construction of WPP here, and this again happened in Scotland (Walker *et al.*, 2005). However, immature birds also continued to visit WPPs as before. Further studies in Scotland confirmed the avoidance of central parts of WPP also by immature nomadic Golden Eagles, although they were still moving peripherally to the WPP dangerously close to wind generators (Fielding *et al.*, 2021). Thus, even by one species, the Golden Eagle, the least tolerant to human activity among the true eagles, it is impossible to predict even approximately the level of WPP avoidance.

If avoidance does not occur, then WPPs built at regular migrant stopover sites will increase the risk of collisions for the reason that birds within WPPs will make landings and takeoffs, significantly more often passing through the RSZ than on a transit flight through Karatau.

To identify species at high risk of population decline due to collisions with wind turbines in the USA, we calculated the effect of mortality from turbines on decline in populations, trends of which were derived either from breeding bird counts or from a matrix model based on demographical values from publications, and the number of mortalities at which populations are still able to maintain stability. The calculations showed that among 14 species studied, those with a relatively high potential impact on populations as a result of collisions with wind turbines include the Golden Eagle, the Ferruginous Buzzard (*Buteo regalis*) and Red-Tailed Hawk, American Kestrel (*Falco sparverius*) and Barn Owl (*Tyto furcata*) (Diffendorfer *et al.*, 2021). Thus, it can be expected that in Eurasia all eagles will be in the main risk group when increasing the volume of WPPs.

Even knowing approximate numbers, productivity and survival rate of immatures in eagle populations migrating in the WCH-MC, and separately through Karatau, it is impossible to correctly predict the impact of WPPs both in terms of habitat loss and excess mortality. That is, until we begin to observe population collapses, we cannot say exactly how many eagles would need to be killed in WPPs for this to become noticeable.

в течение сезона. Как показано на морских птицах, они часто летают с благоприятным боковым и попутным ветрами (Weimerskirch *et al.*, 2000; Wakefield *et al.*, 2009; Spear, Ainley, 1997; Paiva *et al.*, 2010; Ventura *et al.*, 2020), которые позволяют им перемещаться с высокой путевой скоростью и низкими энергетическими затратами (Weimerskirch *et al.*, 2000; Wakefield *et al.*, 2009; Richardson, 2011; Richardson *et al.*, 2018). На их путевую скорость, достигаемую во время полёта, влияет как относительное направление ветра (т.е. разница в угле между направлением ветра и направлением движения птицы), так и относительная скорость ветра (или попутная составляющая ветра, т.е. составляющая скорости ветра в направлении полёта птицы) (Weimerskirch *et al.*, 2000; Wakefield *et al.*, 2009; Ventura *et al.*, 2020). Результаты ветровой модели показали, что путевая скорость птиц (на примере кабовердского тайфунника *Pterodroma deserta*) зависит от угла в нелинейном тренде, при этом прогнозируемая скорость птиц достигает максимума при значениях угла около 50°. Модель также показала, что эта тенденция особенно усиливается, когда птицы путешествовали при сильном ветре (Ventura *et al.*, 2020). Точно так же через Каратай двигаются орлы, предпочитая попутный и попутно-боковой ветры в диапазоне до 60° (в оптимуме 40–50°, см. рис. 19), изменяя свои миграционные маршруты год от года, адаптируясь к текущей атмосферной ситуации.

Понимание полётного поведения мигрантов в ответ на погодные условия становится всё более важным для уменьшения конфликтов между людьми и птицами в аэросфере, особенно в свете бурного развития ветроэнергетики (Ross-Smith *et al.*, 2016), но пока оно остаётся слабо изученным (Shamoun-Baranes *et al.*, 2017).

Стандартные оценки риска ВЭС предполагают линейную зависимость между частотой встречаемости птиц в районе ВЭС или частотой пролёта птиц через роторы ВЭС и их гибелью (Langston, Pullan, 2003; Smallwood, Thelander, 2004; Tapia *et al.*, 2009; Telleria, 2009). В таком подходе выявлены недостатки и имеются доказательства того, что вероятность столкновения птиц с турбинами в значительной степени зависит от поведения разных видов в части избегания столкновения с лопастями, топографических характеристик местности и ветровой нагрузки, а не только от численности птиц (Barrios, Rodríguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2008; 2012; Garvin *et al.*, 2010; Ferrer *et al.*, 2012; Liechti *et al.*, 2013; Каинер

For common bird species, the impact of collisions with wind turbines is unlikely to be noticeable at the population level because the calculated death rate is less than 0.01% of their population size (see example from Canada: Zimmerling *et al.*, 2013). However, for long-lived birds of prey with low population densities and slow reproduction rates, even low levels of excess mortality can have population-level consequences in the long term (Saether, Bakke, 2000; Manville, 2009). Such species, and this includes all eagles, unlike species with lower survival rates and higher breeding performance, are generally unable to withstand excessive anthropogenic mortality (see, e.g., Sanderson *et al.*, 2011). Modeling results based on the Leslie matrix model show that population viability can be very sensitive to proportionally small increases in mortality, and instead of a small effect it was found that an additional 1% mortality in the populations of several species studied, including the White-Tailed Eagle and the Marsh Harrier (*Circus aeruginosus*) resulted in population declines of 2–24% after 10 years, and assumption of a 5% increase in mortality over existing mortality resulted in population decline of 9–77% after 10 years (Schippers *et al.*, 2020). This for species increasing their population size.

Real observations in nature show that collisions of Egyptian Vultures (*Neophron percnopterus*) in Spain, where 80% of the European breeding population stays, have contributed to the decline in population (Carrete *et al.*, 2009); the same holds true for the Red Kite (*Milvus milvus*) population in Germany due to additional mortality from collisions with wind turbines (Bellebaum *et al.*, 2013; Grünkorn *et al.*, 2016).

Populations with low density and/or decreasing in numbers are particularly unstable to excess mortality (Nichols *et al.*, 1984; Bartmann *et al.*, 1992). This is what we see in the case of the Steppe Eagle, listed as IUCN globally threatened species due to decrease in numbers virtually throughout its range (Karyakin, 2018; Garbett *et al.*, 2018; BirdLife International, 2020).

Many sources of anthropogenic mortality can also work together cumulatively to reduce populations in different locations throughout their life cycles (Loss *et al.*, 2012; Schippers *et al.*, 2020). For example, the number of breeding Griffon Vultures in the study territory in Spain decreased by 24%, adult survival by 30% and breeding performance by 35% as a result of the combined effects of feeding site closure and mortality at WPPs, but the population recovered once feeding was restored

и др., 2018; Миллер и др., 2018; Fielding *et al.*, 2021; Murgatroyd *et al.*, 2021). Даже конструкция башен и размер роторов играет роль в уровне смертности (Thelander *et al.*, 2000; ICF International, 2016).

В нашей модели мы учитывали лишь макро-топографию Карагаты, разделив его на 3 зоны по ширине горного массива и направляющим хребтам, высоту полёта птиц (Johnston *et al.*, 2014a), направление и скорость ветра (Christie, Urquhart, 2015). Вероятность уклонения орлов от столкновения с лопастями турбин (см. Madders, Whitfield, 2006; Whitfield, 2009; May *et al.*, 2011; Johnston *et al.*, 2014b) была также учтена на уровне 96%. К сожалению, этот показатель в 96% является не подтверждённым в нашем случае, так как нет натуральных наблюдений за поведением именно больших подорликов, орлов-могильников и степных орлов, особенно в условиях юго-восточного Казахстана. В ландшафте горного барьера в миграционном коридоре, коим является Карагаты, при определённых ветровых нагрузках манёвры птиц для ухода от столкновения с лопастями ветровых турбин могут быть сильно осложнены. В первую очередь это касается передовых складок хребта, где происходит набор орлами высоты для преодоления ими гор. Здесь любой снос птиц боковым или попутно-боковым ветром в сторону турбин, стоящих на кромке резкого перепада высот, может стать фатальным для птиц, при этом без фактических наблюдений за процессом его невозможно спрогнозировать и смоделировать. Поэтому любая теоретическая основа, разработанная на иных

Хребет Карагаты.

Фото И. Каракина.

The Karatau ridge.

Photo by I. Karyakin.



and significantly problematic WPPs were closed; the study showed that productivity and survival were mainly affected by WPPs, and that food shortages contributed to changes in behavior and extension of movements of vultures in search for food, increasing the risk of collisions (Martinez-Abrain *et al.*, 2012).

Cumulative deaths from collisions with wind turbines (Gauthreaux, Besler, 2003) plus deaths from electrocution at power lines (Lehman *et al.*, 2007; Prinsen *et al.*, 2011; Каракин, 2012; Николенко, Каракин, 2012; Dixon *et al.*, 2013; Loss *et al.*, 2014; Guila, Pérez-García, 2022) plus delayed deaths caused by second generation anticoagulant rodenticides (Thomas *et al.*, 2011; Elliott *et al.*, 2014; Rattner *et al.*, 2014) present a more than redundant set of causes determining population declines, such as the Steppe Eagle. Therefore, in order to conserve rare species, a precautionary approach (Cooney 2004) is useful. Under this approach minimization, or better, complete elimination, of bird mortality should be demanded from potentially hazardous industries and activities (Longcore, Smith, 2013) both at the state level and at the level of companies themselves that are concerned about their ratings and reputational risks.

In the European Union, there are legislated guidelines for WPP construction (Zwart *et al.*, 2016) that are intended to ensure appropriate siting of WPPs in areas that minimize adverse impacts on wildlife (Directive 2011/92/EU, 2012). Canada (Kingsley, Whittam, 2005) has similar guidelines to those Europe. In the United States, pre-construction survey requirements vary greatly from state to state, and some states have very detailed instructions issued by state bodies regarding the location of WPPs (Jodi Stemler Consulting, 2007; USFWS, 2012).

Kazakhstan also has a legislative document – Code of Rules of the Republic of Kazakhstan, CR of RK 4.04-112-2014 “Planning of Wind Power Stations” (2015) in which paragraph 14 “Environmental Impact Assessment” is ineffectual in regard to this problem and does not regulate the construction of wind power plants (WPP) in areas sensitive to biodiversity, and does not formulate requirements to reduce the impact of WPPs on birds, completely shifting it to design organizations that do not benefit from considering birds in the design of WPPs.

Paragraph 14.3. When developing the Environmental Impact Assessment section, it is necessary to consider data from local executive bodies in the field of environmental pro-

видах в иных природных условиях, может попросту здесь не работать и будет иска- жать оценки рисков столкновения птиц с турбинами ВЭС в сторону их занижения.

Конечные вероятности столкновения птиц с лопастями ветрогенераторов, полу-ченные на основе CRM «Band», зависят в первую очередь от вероятности избегания птицами столкновений, которая для большинства видов в определённых условиях остаётся неизвестной и трудно определяемой, особенно внутри вида (см. Cook *et al.*, 2014). Именно отсутствие надёжных оценок уровня уклонения явилось причиной критики CRM «Band» (Chamberlain *et al.*, 2005; 2006; Masden, Cook, 2016). Первоначальное предположение авторов CRM (см. Band *et al.*, 2007) об общей норме уклонения от столкновений в 95%, сделанное в отсутствии каких-либо эм-пирических измерений, после целевых исследований в некоторых странах для ряда видов оказалось низким. Показатели уклонения от столкновений были оце-нены для нескольких видов и оказались более высокими, чем предполагалось (Desholm, Kahlert, 2005; Desholm, 2006; Everaert, Steinen, 2007; Whitfield, Madders, 2006a; 2006b; Fernley *et al.*, 2007; Urquhart, Whitfield, 2016) – вплоть до 99,5–99,9% у беркута в Шотландии (Madders, 2004 из: Chamberlain *et al.*, 2006; Whitfield, 2009). Однако в большинстве исследований речь шла о перемещениях гнездящихся птиц или молодых птиц на кочёвках, преиму-щественно в прибрежной зоне или холми-стом ландшафте, а не в условиях горного барьера в миграционном коридоре (см. Walker *et al.*, 2005; Whitfield, Fielding, 2017; Fielding *et al.*, 2021; 2022 на примере бер-кута в Шотландии). При этом шотландские беркуты продемонстрировали более высо-кие уровни избегания столкновений, чем это определено для горных районов США (Smallwood, Karas, 2009; Bell, Smallwood, 2010; New *et al.*, 2015; Hunt *et al.*, 2017). Например, в Калифорнии в 1994–2000 гг. близ крупной ВЭС (142 км²) были помече-ны 250 беркутов, 88 из которых погибло, причём на столкновения с ветряными тур-бинами приходится 41% из этих 88 смер-тельных случаев, большинство из которых были несовершеннолетними и не размно-жающимися взрослыми особями (Hunt *et al.*, 2017).

Применяя «беркутиные» показатели ве-роятности уклонения от столкновений с ветрогенераторами к другим видам орлов, надо также понимать, что это не самое

tection on the ecological value of the territory, including the presence of rare or endangered species of plants and animals, migration routes of birds, etc.

Paragraph 14.4. When designing a WPP which includes more than three wind turbines it is necessary to carry out seasonal observa-tion of bird migration by a specialized ornitho-logical organization.

Paragraph 14.5. Upon the recommenda-tion of the specialized organization, it is ad-visable to provide for measures that prevent impact on avifauna by coloring the blades with fluorescent paints, installation of sound signals to deter the birds, illumination of poles and blades of wind turbines at night, and in fog and other conditions of insuffi-cient visibility.

Since in the case of Zhanatas WPP, through which a large number of Steppe Eagles mi-grate, the time for a preventive approach has already been missed. WPP was built in vi-o-lation of all of the above guidelines. Urgent measures are required to be taken to mitigate its impact on migrants and primarily on the decreasing numbers of Steppe Eagles.

Unfortunately, there are very few existing instruments or measures with a proven and effective impact on reduction of bird col-lisions with wind turbines. At the same time, in civilized countries, demand for such mea-sures from state environmental agencies, WWP de-velopers, nongovernmental organizations, and the concerned public is growing (Voigt *et al.*, 2019).

Among the measures to reduce bird mortal-ity in already constructed WPPs, the following options have been proposed and/or tested in different countries:

- a) shorter period of operation,
- b) acoustic methods,
- c) visual methods.

Reduction of the period of operation, i.e., shutting down during the most vulnerable pe-riods of the year, such as migration periods, has been proposed as a measure to minimize bird collision deaths by several studies (de Lucas *et al.*, 2012a; Marques *et al.*, 2014; May *et al.*, 2015; Tomé *et al.*, 2017) and is included in IUCN recommendations as the most effective measure to prevent bird col-lisions with wind turbines (Bennun *et al.*, 2021). A program of selective shutdowns of high-risk turbines was tested in Spain and showed a reduction in Griffon Vulture mortal-ity rate by 50% (de Lucas *et al.*, 2012a). The same holds true for a study in the USA, where annual shutdown during certain seasons or in certain weather conditions reduced mortality

удачное решение, так как беркут гораздо менее толерантен к антропогенной деятельности человека, чем другие орлы. Анализ дистанций вспугивания птиц и их ответа на ведущуюся на гнездовых участках хозяйственную деятельность показал, что беркут имеет самые дальние дистанции вспугивания птиц вне гнёзд и самый высокий уровень избегания нарушений на гнездовых участках, относительно большого подорлика и орла-могильника, последний из которых наиболее толерантен к беспокойству со стороны человека и его хозяйственной деятельности (Карякин и др., 2017а). Следовательно, для беркута можно предполагать более высокие уровни избегания ВЭС, нежели у орлов других видов. Орлы-могильники гнездятся в наиболее освоенном человеком биоме, не избегают антропогенных объектов (в последние годы вид всё чаще гнездится на опорах высоковольтных ЛЭП) и тяготеют к территориям с ведущейся хозяйственной деятельностью человека (см. Карякин, 2006б; 2008с; Корепов, Бородин, 2013; Бекмансуров, 2015; Корепов, Стрюков, 2015; Ильюх, Шевцов, 2020), поэтому уровни избегания ими ВЭС и уклонения от столкновений могут быть ниже таковых у беркутов. Ещё хуже с избеганием ВЭС и уклонением от столкновений может быть у степного орла, который гораздо раньше орла-могильника освоил гнездование на ЛЭП (Карякин, 2008с) и за более чем 60-летний период развития сети ЛЭП в Евразии не смог идентифицировать птицеопасные конструкции и научиться избегать их, в отличие от беркута и орла-могильника. В итоге в настоящее време-

Орёл-могильник (*Aquila heliaca*) активно осваивает для гнездования опоры ЛЭП, в связи с чем может быть толерантен к ветрогенераторам и не избегать ВЭС на миграциях.

Фото Р. Бекмансурова.

*The Imperial Eagle (*Aquila heliaca*) is actively developing power poles for nesting, and therefore it can be tolerant to wind generators and not avoid wind farms during migrations. Photo by R. Bekmansurov.*



of large birds (Golden Eagles) and bats, but even inoperative turbines caused collisions of small birds and night migrants with them (Smallwood, Bell, 2020). Turbine shutdowns of turbines after detecting birds in real time by radar or video monitoring, especially in bad weather conditions that increases the risk of collisions, were implemented in Sweden (Litsgård et al., 2016), Norway (May, 2017) and Portugal (Tomé et al., 2017) and showed to be effective.

Modern radars detect small birds at distances from 2 to 5 km, and large birds at distances of up to 12–15 km (Dokter et al., 2011; Nilsson et al., 2018; Phillips et al., 2018; Bennun et al., 2021). In particular, the Accipiter® eBirdRad (Accipiter Radar Technologies, Inc.; Fonthill, ON, Canada) detected transmitter-tagged griffons and vultures up to 5 km away (Beason et al., 2010); Robin Radar Max®, a bird-search-only, with unlimited field of view, deployed at the Tahkoluoto WPP in Finland to prevent collisions of White-Tailed Eagles with wind generators and at the Kavarna WPP in Bulgaria to prevent collisions of migratory and key species (eagles, scavengers), showed a maximum distance up to 15 km for large birds detection (Bennun et al., 2021); STRIX Birdrack®, targeting both birds and bats, deployed at the Barão de São João in Portugal detected large birds at distances up to 12 km and completely eliminated fatal collisions in more than 5 years of operation (the radar was used in combination with watchers) (Tomé et al., 2017), and after deployment in Egypt, it detected flocks of large birds at distances up to 20 km and reduced fatal collisions to 5–7 per year from about 400,000 migrating birds passing through the WPP each season (Tomé et al., 2019).

However, radars cannot perform direct classification of species, classification, requiring an ornithologist to monitor the radar and analyze the resulting data (Ruhe, 2008; van Gasteren et al., 2019). The expert will also make the decision on shutting down the turbine (Bennun et al., 2021). Expert biologist operators, high cost (Robin Radar Max® – 500,000 USD), large size and power consumption, and government radiation regulations limiting frequency and beam power are the main barriers to wide use of radars to detect birds in large numbers of WPPs (Gründinger, 2017).

In the last decade, with the development of graphics processors and image processing algorithms based on artificial intelligence, machine vision-based detection systems (video systems) have become increasingly effective

мя степной орёл относится к числу птиц, наиболее уязвимых от поражения электротоком на воздушных ЛЭП (Карякин, 2012; Карякин и др., 2016b) из-за масштабной гибели во всём ареале (Карякин, Новикова, 2006; Барбазюк и др., 2010; Машына и др., 2011; Меджидов и др., 2011; Левин, Куркин, 2013; Пуликова, Воронова, 2018; Сараев и др., 2019; Shobrak *et al.*, 2021), имеет минимальные дистанции вспугивания и чаще других орлов использует искусственные сооружения в качестве присад и для устройства гнёзд (Карякин и др., 2016b). Такие особенности поведения степного орла предполагают, что и ВЭС будут влиять на этот вид также негативно ввиду того, что он не будет их избегать или уровень избегания и/или уклонения от столкновений будет очень низкий.

Другой момент, остающийся за кадром многих исследований, но сильно влияющий на возможность уклонения птиц от столкновений и, как следствие, уровень смертности птиц – это изменение атмосферных условий. Реакция мигрантов на атмосферные условия зависит от различных внутренних и внешних факторов (Nathan *et al.*, 2008). Во время миграции птицы уделяют внимание энергетическим затратам, безопасности, времени, потраченному на миграцию, и целому комплексу других показателей, и выстраиваемые ими приоритеты влияют на их поведенческие реакции на изменение атмосферных условий, например на выбор остановки во время шторма, обхода его вокруг или пролётом через него на большой высоте (Alerstam, Lindström, 1990; Jenni, Schaub, 2003). Относительная важность этих факторов и способность птицы соответствующим образом приспосабливаться имеют как экологические, так и эволюционные ограничения (Shamoun-Baranes *et al.*, 2017), которые не учитываются при оценке риска столкновений.

Очевидно, что скорость и направление ветра изменяют полётное поведение птиц и даже влияют на смешение миграционных потоков (Vansteelant *et al.*, 2014; Ainley *et al.*, 2015; Yamamoto *et al.*, 2017), а значит влияют на риск столкновения, поэтому они включены в базовую модель CRM «Band». Но при анализе ветра используются усреднённые данные, не учитывающие резких изменений в скорости и направлении ветра, что при пересечении птицами гор становится актуальным. Наши данные показали, что на входе в горы и на выходе скорость и направление ветра могут силь-

or useful (Adams *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2019; Albertani *et al.*, 2021; Gradolewski *et al.*, 2021). A single camera can detect a flying bird and perform species identification. However, the most recent systems use stereoscopy, which extends their ability to detect birds (May *et al.*, 2012; McClure *et al.*, 2018). Stereoscopic systems can provide the same distance estimation performance to flying birds as radar systems, but only in ranges up to 1 km (McClure *et al.*, 2018; Gil *et al.*, 2018). In recent years, several systems using bird detection ranges from 300 m to 1500 m developed for automatic bird detection at wind power plants for shutting down turbines, have already been implemented and tested: DTBird (2017; 2021), SafeWind (Biodiv-Wind, 2021), IdentiFlight (2021), Bird-Vision (2021) and Airelectronics (Vulture..., 2020), or are undergoing field trials (Adams *et al.*, 2017). Most of the systems available on the market are based on a monoscopic approach, and only IdentiFlight and the system developed by the Biodiversity Research Institute (BRI), The University of Maine Orono School of Computing and Information Science (UMaine SCIS), HiDef Aerial Surveying Limited (HiDef), and SunEdison, Inc. (see Adams *et al.*, 2017), uses stereovision and a built-in classifier to classify birds into three different groups. Automatic shutdown of wind turbines using the IdentiFlight video system installed in the US wind power plant has proven to be effective in reducing collisions of birds of prey the size of a kestrel, reducing collisions by 82%. Moreover the system detected 562% more birds than watchers (McClure *et al.*, 2018). To improve the performance of stereo systems to detect and recognize birds, the Automatic Detection and Response Method (ADaRM) has been developed and shown to be effective (Gradolewski *et al.*, 2021). It is to be expected that such systems will be further developed, reduced in cost and available for use in many low-cost wind power plants.

To reduce collision mortality, the following half measure has been proposed: shifting the activation of specific turbines from wind speeds of 5–8 m/s to higher speeds to reduce the risk of bird collisions in low winds (Barrios, Rodriguez, 2004; Smallwood *et al.*, 2009). However, the effectiveness of this half measure has not been tested in long-term studies on migrants.

Reproduction of high-intensity sounds when birds approach wind turbines has limited effectiveness due to habituation (May *et al.*, 2015) and has not been designed to deter

но различаться, а значит могут существенно различаться и риски столкновений птиц с ветрогенераторами.

Сильный ветер ухудшает манёвренность птиц в полёте (Langston, Pullan, 2003). Но снижение скорости ветра может стать проблематичным явлением и нести угрозу столкновений даже большую, чем высокая скорость ветра, так как птицы теряют возможность использовать энергию ветра для уклонений от лопастей при прохождении ЗДР (см. Barrios, Rodriguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2008; Johnston *et al.*, 2013). Наиболее опасным для птиц может быть резкое снижение скорости ветра при понижении температуры, когда птицы не могут использовать ни энергию ветра, ни восходящие потоки при проходе ЗДР, а для пика осенней миграции в условиях Карагаты это может быть нормой. Например, в предгорьях Скалистых гор на северо-востоке Британской Колумбии (США) в известном миграционном коридоре беркутов, почасовая скорость пролёта во время осенней миграции достигала пика в полдень и увеличивалась на 17% с каждым увеличением скорости ветра на 1 км/ч и на 11% с каждым повышением температуры на 1°C, при этом при больших скоростях ветра и повышении температуры птицы практически не входили в опасную для столкновений зону (Johnston *et al.*, 2013).

При снижении скорости ветра орография будет оказывать существенное влияние на риски столкновений (см. Duerr *et al.*, 2012). Как показано на примере беркутов в США, орлы летают на относительно меньшей высоте над крутыми склонами и скалами (местами, где может развиваться орографический подъём), чем над равнинами и пологими склонами (местами, где термический подъём более вероятен) (Katzner *et al.*, 2012; Johnston *et al.*, 2013). Следовательно, при снижениях скорости ветра наибольшую опасность для орлов могут представлять ветротурбины, построенные в зоне орографического подъёма, при этом вероятность столкновений должна падать пропорционально увеличению скорости попутного ветра.

Ухудшение видимости во время миграции может увеличивать риск смертности от столкновения с ветрогенераторами (Larsen, Guillemette, 2007), однако и здесь не всё так однозначно. В ряде исследований показано, что в тумане птицы компенсируют ограниченную видимость и либо сокращают время нахождения в полёте, либо летят низко над землёй (см.

birds of prey. Devices projecting broadband ultrasound from 20 to 110 kHz have been designed and studied to reduce mortality of bats at wind turbines, showing limited reductions in mortality at experimental wind turbines, ranging from 2% to 64% (Arnett *et al.*, 2013). However, because of the physiological differences between bats and birds, acoustic-based technical solutions for a set of species at higher risk for collisions are not feasible (Arnett, May, 2016).

As visual markers that demonstrate threat to birds or simply improve the visibility of potentially dangerous structures, ultraviolet paint on rotor blades to reduce collisions with blades of daytime birds of prey and several other species, sensitive to ultraviolet radiation (Young *et al.*, 2003), or lighting turbines at night (pulsing lights, blue or green lights) to reduce night bird mortality (Johnson *et al.*, 2007; Poot *et al.*, 2008) and even painting tower bases to reduce Galliformes mortality from collisions not only with blades but with wind turbine poles (Stokke *et al.*, 2020) have been suggested. Coloring the blades with ultraviolet paint did not confirm effectiveness (Hunt *et al.*, 2015), but laboratory experiments showed that painting one of the rotor blades black could help reduce motion blurring and allow birds to see the RSZ, thus reducing the risk of collisions (Hodos, 2003). The author recommended further field tests to determine the effectiveness of coloring in reducing collision mortality. Similar experiments were conducted at the Smøla WPP in Norway and showed an effectiveness of 70% for collision avoidance among all bird species and 100% for collision avoidance in birds of prey (May *et al.*, 2020).

Oregon State University developed a visual eagle deterrence system using inflatable anthropomorphic objects with random kinetic motion (Albertani *et al.*, 2021), but there is no hard evidence of its effectiveness; in experiments it was paired with a video monitoring system that warns of eagles appearing near a turbine.

The above review shows that only turbine shutdowns when birds approach is an effective method for mitigation of wind power plant construction in migration corridors. However, equipment to automate turbine shutdowns is quite expensive both in terms of acquisition costs and maintenance, making it unlikely that small companies will agree to install it. Painting the blade black looks promising, but this method requires more detailed studies in the migration corridors of a whole number of species.



Туман в горах Карагатай.
Фото И. Калякина.

Fog in the Karatau mountains. Photo by I. Karyakin.

Moyle, Heppner, 1998; Richardson, 2000; Piersma *et al.*, 2002). Поэтому, с одной стороны, туман, а в условиях Карагатая наиболее часто на осеннеей миграции орлов это пылевая завеса, сдуваемая с Мойынкумов и из Бетпакдалы сильным попутным ветром, ухудшает видимость настолько, что возрастает риск столкновения даже со стационарными объектами, такими, как высоковольтные ЛЭП, сотовые вышки или башни ветрогенераторов (см. APLIC, 1994; 2012; Savereno *et al.*, 1996; Harness *et al.*, 2003; Manville II, 2005; Jenkins *et al.*, 2010; Hüppop, Hilgerloh, 2012; Bernardino *et al.*, 2018; Eccleston, Harness, 2018). С другой стороны, остановка на миграции в такой период или пролёт на низких высотах (ниже ЗДР) могут, наоборот, снижать риск столкновений.

Учитывая то, что Карагатай пересекает большое количество молодых и полузврелых степных орлов, необходима также поправка на возраст птиц, которую мы не делали, так как прослеживали с помощью трекеров как раз миграцию молодых и полузврелых птиц. При этом в США на примере беркута показано, что склонность пересекать вершины хребтов, где должны были быть расположены турбины, различалась в зависимости от возрастных классов и молодые орлы почти в два раза чаще пересекали вершину хребта, чем взрослые или полузврелые орлы (Johnston *et al.*, 2013). При накоплении данных по прослеживанию взрослых птиц будет возможно внести корректировку в риск столкновения в соответствии с возрастом орлов.

При прохождении птицами ВЭС в Карагатай возможен и полевой отбор. Как уже показано исследованиями в Израиле (Spaan, 1997) и нашими данными, более тяжёлые птицы летают быстрее и имеют меньшие

Conclusion

Wind power plants in Kazakhstan are just beginning to develop and have not yet caused serious damage to eagles and other birds of prey. However, with unregulated development of wind energy this damage could become enormous in the near future and be a significant factor in the decline of populations of large birds of prey, primarily the Steppe Eagle, the population of which is decreasing quite rapidly (see Karyakin, 2018; Karyakin *et al.*, 2019f; Pulikova *et al.*, 2021).

As evidence from construction of the Zhanatas WPP shows, even biodiversity-oriented and reputation risk-conscious companies (such as the EBRD) investing in "green energy" turn a blind eye to weak preparation of design documentation prepared in violation of European standards and methodologies and lacking relevant information on biodiversity and giving only a weak impression of risk assessments for rare species (see EcoSocio Analysts LLC, 2019). Biodiversity risk assessment was overlooked by the experts of many investors. It proves that in Kazakhstan, the overuse of data complicating the construction of facilities hazardous to biodiversity are not profitable for investors, project designers, or government employees, and weak civil society is unable to resist industry attacks on nature. Therefore, in order to prevent the introduction of "dirty" technologies (even if they are presented as "green" ones) that negatively affect biodiversity, an active influence on market players from outside by the expert community and decision-makers is necessary. And this requires quality information support for studies of possible risks. Therefore, the main goal for this article is to reach the expert community and decision makers and bring information about the importance of eastern Kazakhstan for birds of prey on a Eurasian scale and to show that large numbers of birds from a huge area can become victims of WPP development in a small territory through which a continental-scale migrant flow is going. We hope that the results of this study will be used in the evaluation of WPP development projects and projects presenting the greatest danger to rare bird species will be rejected.

At present, there are several WPPs operating within Kazakhstan in the WGWMC. In addition to Zhanatas WPP, also in the WCHMC, but east of Karatau, the Kurdai WPP is brought into operation ($N 43.334736^{\circ} E 74.965691^{\circ}$) near the village of Kurdai, Zhambyl Region, developed with the support of the UNDP (Tredovan *et al.*, 2008). In 2020, two WPPs were commissioned near the village of



Самец (слева) и самка (справа) степного орла.
Фото И. Каракина.

Male (left) and female (right) of the Steppe Eagle.
Photo by I. Karyakin.

углы планирования, а значит самки орлов более уязвимы при прохождении через ЗДР и имеют более высокие вероятности столкновений.

В настоящее время опубликовано крайне мало результатов исследований, в которых анализируется влияние ветротурбин разного типа на частоту столкновений птиц с лопастями этих турбин (см. Thelander *et al.*, 2003; Smallwood, Thelander, 2004; de Lucas *et al.*, 2008), при этом практически нет исследований, которые включали бы большие башни современного типа с крупными роторами, которые от старых отличаются более медленной скоростью вращения. В Нидерландах по результатам 3-месячных исследований в осенне-зимний период смертность птиц на турбинах нового поколения (1,65 МВт) с большой площадью лопастей составила 0,08 особей (от 0,05 до 0,19), а численность погибших птиц по сравнению с общей численностью птиц, летящих над ВЭС, составила в среднем 0,14%; для турбин предыдущего поколения, риск столкновения был равен 0,06–0,28%. Авторами был сделан вывод, что турбины нового поколения имеют технические характеристики, втрое снижающие уровень негативного влияния на птиц (Krijgsveld *et al.*, 2009). При этом стоит отметить, что страна лежит за пределами основных миграционных коридоров и в ней нет скоплений крупных хищных птиц-парителей. Поэтому снижение уровня смертности в данном исследовании сложно сравнивать с территориями, через которые мигрируют орлы. В то же время исследования в Калифорнии (США) показали, что уровень смертности птиц и летучих мышей был постоянным на единице произведённой энергии вне зависимости от размеров турбин и расстояний между ними (Huso *et al.*, 2021), а анализ данных по

Koktal, Zhambyl Region ($N 43.287828^{\circ}$ E 70.312958°): Koktal-1 and Koktal-2 WPPs, each with installed capacity of 4.95 MW (KEGOC, 2020). There is also no available information about the impact of these WPPs on birds, especially for Kordai WPP, which has been in operation for more than 5 years. This information is either ignored by the owners of WPPs, or deliberately hidden. This gap must be closed in the near future with case studies.

The cumulative environmental impact of wind power plants may be lower than that of other electricity generation sources (Sovacool, 2012; 2013), and given the goals of reducing greenhouse gas emissions, we can assume that wind power will develop rapidly to reduce the use of fossil fuels and slow down potentially negative climate dynamics. WPP development will proceed in Kazakhstan, despite numerous challenges (Orlov, 2012; Antonov, 2014; Karatayev, Clarke, 2014; Atageldiyeva, Kalimbetov, 2015; Akhmetkaliyeva, 2020). In 2009, the country adopted the law "On State Support of the Use of Renewable Energy Sources" (Law..., 2009), enabling a significant increase in generating capacity from renewable energy sources (RES), expanding their share to 10% of total electricity consumption (Upushev, Bolatbek, 2012).

Therefore, in order to preserve rare bird species, there is an urgent need for decisions at the state level to prohibit the construction of WPPs with a horizontal axis of rotation in migration corridors, in particular in the entire WGWMC. However, since the importance of WPP development is obvious, state efforts should be made to support the development and implementation of alternative WPP structures that do not negatively affect migratory birds and can be installed both for local generation and as entire windparks in migration corridors outside bird stopover areas. Such installations could include:

a) vertical axis turbines (Hyams, 2012; Kjellin, 2012; Whittlesey, 2017; Adefarati, Bansal, 2019; Li, 2019), such as the Bolotov Windrotor (Bolotov *et al.*, 2007; Bolotov, 2011), already in use in Kazakhstan (ITAR-TASS, 2010; Bolotov, Bolotov, 2019; Shkolnik *et al.*, 2019) and promising both for implementation in small businesses and private farms, especially remote ones (Bolotov *et al.*, 2019; Polyakova *et al.*, 2019), as well as for integration into regional power grids, with some improvement of automation and dispatching control systems (Ibraev, Musilimov, 2017), but does not have financial support for development,

b) wind generators of resonant energy caused by wind vortices (using aeroelastic

континентальной части США показал, что смертность увеличивалась с увеличением высоты ступицы турбины (Loss *et al.*, 2013). Поэтому можно только догадываться, как использование новых турбин в ВЭС на Карагату будет влиять на возможность уклонения орлов от столкновений. С одной стороны, при низкой скорости вращения ротора птицы имеют больше времени, чтобы безопасно пройти через ЗДР. Но с другой стороны, большие турбины создают большую турбулентность, что осложняет птицам маневрирование при пролёте через ЗДР и при сильном ветре нельзя исключать возможность баротравм или контузий, о которых в случае с птицами нет вообще опубликованной информации (Шкрадюк, 2018), но около половины летучих мышей на ВЭС гибнет именно по этим причинам (Grodsky *et al.*, 2011). С одной стороны, большие турбины расположены дальше друг от друга и у птицы есть больше места, чтобы пролететь между ними, уклоняясь от ЗДР. С другой стороны, разнесение турбин на большее расстояние снижает уровень избегания птицами пролётов через ВЭС, нежели когда менее мощные и более низкие турбины стоят более плотно. Это значит, что больше птиц будут пытаться пролететь между большими турбинами, чем обойти их, что мы, собственно, и видим на примере степных орлов, а значит при любых боковых сносах ветром больше птиц будет подвергаться опасности быть затянутыми в ЗДР. На фоне этих соображений становится понятно, что реальный коэффициент уклонения птиц от столкновений с лопастями ветрогенераторов нужно вычислять для конкретных ВЭС.

Множество неучтённых факторов, как качели, то увеличивают, то уменьшают как вероятность риска столкновения, так и вероятность уклонения птиц от столкновения с лопастями ветрогенераторов. Факторов, которые снижают вероятность уклонения от столкновений, в условиях Карагату обнаруживается значительно больше, чем тех, которые бы увеличивали вероятность уклонения птиц от столкновений при проходе через ЗДР или вообще обхода ВЭС. Поэтому мы решили принять компромиссное решение в качестве показателя 96% для коэффициента уклонения от столкновений и считаем его более правильным, чем высокие показатели уклонения, полученные для беркутов в Шотландии.

Возможно, что наша оценка риска гибели орлов на Жанатасской ВЭС в диапазоне от 55 до 61 особи в год (1,38–1,53 особей

resonance) (Barrero-Gil *et al.*, 2012; Mueller-Vahl *et al.*, 2013; Bodkhe, 2018; Haridass *et al.*, 2018; Paré-Lambert, Olivier, 2018; Vishnu *et al.*, 2019; Raghuvanshi *et al.*, 2020), such as Vortex Bladeless (Yáñez, 2015; 2018; Francis *et al.*, 2021), which are not yet available in Kazakhstan, but have stronger financial and scientific support to promote in foreign countries than turbines with vertical axis of rotation, and probably soon will provide strong competition to classical wind turbines with horizontal axis of rotation.

Recommendations

For the conservation of birds of prey that migrate in the Western Circum-Himalayan Migration Corridor (WCHMC), especially Steppe Eagles, the government of Kazakhstan should do the following:

1. Declare a moratorium on the construction of new wind power plants using blade wind generators with a horizontal axis of rotation throughout the primary raptor migration routes in the WCHMC. This does not apply to the development of WPPs using Bolotov Windrotors or resonant energy wind generators installed outside birds of prey concentration sites at migration stopovers.

2. Oblige owners of previously installed WPPs to fully shut them down for 113 days during the autumn migration from August 5 to November 25, and for 77 days during spring migration – from February 22 to May 9, until they take measures to automate the process of shutting down wind generators when birds fly near them by installing radar or video monitoring stereo systems.

3. Develop a new Code of Rules of the Republic of Kazakhstan “Planning of Wind Power-Stations”, regulating the design of WPPs in areas sensitive to biodiversity and listing mandatory measures to mitigate negative impact of WPPs on biodiversity.

Owners of WPPs should do the following:

4. Equip WPPs with automatic bird turbine collision warning systems based on radar or stereo video monitoring systems.

5. During WPP operation and until equipped with automatic collision warning systems, reduce the risk of collision for breeding and wintering birds in areas of WPPs by painting blades in accordance with recommendations by Norwegian researchers (see May *et al.*, 2020).

A good alternative to the development of mega-wind farms, which require significant costs to mitigate their negative impact on birds could be the development of a network of bird-safe small power units, such as VRTB tur-

на турбину в год и 0,09–1,0% от числа особей, пролетающих через Карагатай), учитывая скорость и направление ветра, а также возможность уклонения птиц от столкновения в районе 96%, может быть завышенной, особенно для ВЭС с распределением турбин в 1 линию. Однако, пока это единственная оценка, основанная на моделировании данных на основе визуальных наблюдений миграции и прослеживания орлов с помощью трекеров с большим количеством неоценённых вероятностей. В дальнейшем, при появлении дополнительных данных, она может быть скорректирована и хотелось бы, чтобы она оказалась завышенной, а не наоборот.

В США в целом по всему комплексу ВЭС смертность хищных птиц оценена в 0,006 особей на турбину в год (Erickson *et al.*, 2001), по другим данным от 0 до 0,15 смертельных случаев на МВт в год (Johnson, Stephens, 2011), но в расчёте фигурирует большое количество ВЭС, построенных вне зоны обитания хищных птиц даже в период миграции. Если же рассматривать только ВЭС в Калифорнии, то здесь уровень смертности хищных птиц варьирует от 0,007 (Howell, DiDonato, 1991 – 150 турбин в исследовании) до 0,1 особей на турбину в год (Thelander, Rugge, 2000a; 2000b; Thelander pers. data from Erickson *et al.*, 2001 – 785 турбин в исследовании), причём на перевале Альтамонт доля погибших хищных птиц по объединённым данным за 1991–2000 гг. составляет 47,6% (Howell, Didonato, 1991; Howell *et al.*, 1991; Orloff, Flannery, 1992; 1996, Howell, 1997; Thelander, Rugge, 2000a; 2000b; Erickson *et al.*, 2001). Тем не менее, есть ВЭС, на которых отмечается повышенная гибель птиц, например для ряда ВЭС в 1999–2001 года средний показатель смертности составил 1,29 особей на турбину в год (Howe *et al.*, 2002). На ВЭС Перевал Сан Горгонио (США), в которой насчитывается 3200 турбин и через которую в период миграций пролетает около 69 млн. птиц, показатель смертности составляет 0,04 ос. на турбину в год (Orloff, Flannery, 1992). При этом такие низкие показатели смертности для такого количества турбин как раз могут быть вызваны их плотным расположением и, как следствие, обходом птицами.

На Мексиканском перешейке, где сходятся три основных пролётных пути неарктических и неотропических птиц и пролетает около миллиона хищных птиц в течение осеннего сезона миграции, скорректированная смертность в 2015 г.

bines (Bolotov Wind Rotor Turbines), installed independently at small businesses, farms, remote technical facilities of industrial enterprises and resource extraction companies and which do not carry the accompanying threats to birds presented by power lines.

Acknowledgments

The implementation of this project was made possible thanks to the cooperation of the Russian Raptor Research and Conservation Network with Sibecocenter LLC (Novosibirsk, Russia) and the Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan, which organized expeditions in Russia and Kazakhstan. The project was supported financially by the Altai-Sayan Branch of WWF-Russia, the Foundation "The World Around You" of the Corporation "Siberian Health", the Russian Geographical Society (the project "Eagles of Russia"), the Rufford Foundation, the Global Greengrants Fund, The Altai Project/Earth Island Institute, and TNK "Kazchrome", Aquila (provided 2 trackers for free), MME/BirdLife Hungary, Megafon, as well as private sponsors M.M. Plakhota and E.A. Pavlova within the project "Passport for Eagle". A huge number of people responded to the call to financially support the tracking of eagles during the event "Top up the Eagle's Mobile!", which was organized with the help of the Wild Animal Rehabilitation Center (Novosibirsk, Russia). The Reserves "Ubsunur Depression", "Khakasskiy" and the National Park "Sayludemsky" helped make field arrangements. In this regard, the authors thank all the organizations supporting the project, as well as private sponsors, many of which were unknown. Special thanks to Jennifer Castner, Vera Voronova and Sergey Sklyarenko for their fundraising assistance, Victoria Shurkina, Diinmey Balbanool, Vladislav Kanzai, Aleksandr Kuksin, Denis Malikov and Erkin Tadyrov for comprehensive assistance in fieldwork in the Altai-Sayan region, Anna Barashkova, Roman Bachtin, Aleksey Vagin, Sergey Vazhov, Alexey Gribkov, Baurzhan Iskakov, Premsagar Mestri, Anna Panzhina, Oleg Shiryaev and Aleksandr Milezhik for participation in expeditions and Nirav Bhatt for monitoring Kenzhyk and Ming wintering in India and beautiful photographs of these birds.

The work on eagle sex determination by molecular biological methods was supported by the program No. 41 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences "Biodiversity of Natural Systems and Biological Resources of Russia" and the program of basic scientific research (project 0310-2019-0003).

составила от 9,06 до 12,85 птиц/МВт/год (Cabrera-Cruz *et al.*, 2020).

В Испании при численности птиц, наблюдающихся в зоне ВЭС, сравнимой с таковой в Карагату, показатели смертности существенно ниже, чем 1 погибшая птица на турбину в год. Например, на территории ВЭС Тарифа (в Андалузии) при достаточно большом обилии в районе ВЭС белоголовых сипов (0,36–125,91, в среднем 8,88 ос./км), змеевядов (*Circaetus gallicus*) (0–16,11, в среднем, 0,92 ос./км) и чёрных коршунов (*Milvus migrans*) (0–1111,12, в среднем, 25,94 ос./км) среднее количество погибших хищных птиц составляло 0,03 ос. на турбину в год (de Lucas *et al.*, 2004). На другой испанской станции смертность птиц разных видов составила 0,41 случай в год на турбину (Lowther, 2000). В северной Испании, где учёт птиц и поиск трупов проводились в 2000–2002 гг. на 37 участках, содержащих 277 турбин, на 33671 регистрацию белоголовых сипов пришло 1853 наблюдения птиц в ЗДР и 227 птиц погибло в результате столкновений, что составило 0,27 смертельных случаев на турбину в год; а регистрации орлов были минимальны и, как следствие, минимальны и факты их гибели на ВЭС (Lekuona, Ursúa, 2007). В районе Гибралтарского пролива, через который проходит массовая миграция хищных птиц из Европы в Африку, смертность от столкновения с турбинами была выше, чем на ЛЭП, причём потери коснулись в основном местных птиц, преимущественно белоголового сипа (0,15 особей на турбину в год) и обыкновенной пустельги (*Falco tinnunculus*) (0,19 особей на турбину в год), так как основной поток мигрантов шёл за пределами ВЭС (Barrios, Rodríguez, 2004).

Однако ряд исследований ВЭС, спроектированных в зоне концентрации других

нехищных видов, наглядно показывает, что в зависимости от местности, численности и статуса птиц в данной местности, смертность может достигать высоких пределов. Так в Бельгии в 2004–2005 гг. гибель птиц на ВЭС, стоящих в море, варьировала от 27,6 до 34,3 ос. на турбину в год, а на суше в прибрежной зоне – от 3,9 до 7,3 ос. на турбину в год; причём вероятность столкновения обыкновенных крачек (*Sterna hirundo*), пересекающих линию ветротурбин, составила 0,110–0,118% для полётов на высоте ротора и 0,007–0,030% для всех полётов, а пестроносых крачек (*Sterna sandvicensis*) – 0,046–0,088% для полётов на высоте ротора и 0,005–0,006% для всех полётов (Everaert, Stienen, 2007). Аналогично высокие показатели смертности на прибрежных ВЭС возле Остребиума (Oosterbierum) приводит Дж.Э. Винкельман (Winkelman, 1992): 2,4–56,2 особей на турбину в год для крупных птиц и 2,1–63,8 особей на турбину в год – для воробынных. Оценки смертности птиц в результате столкновений с ветротурбинами в Канаде по учётом на 43 ВЭС варьировались от 0 до 26,9 птиц на турбину в год, составив с среднем $8,2 \pm 1,4$ птицы на турбину в год, при этом не было значительных различий в оценочной смертности на одну турбину между провинциями Канады (Zimmerling *et al.*, 2013).

Из обзора виден огромный разброс показателей гибели птиц разных видов на ВЭС, в том числе хищных. К сожалению, сравнить нашу оценку предполагаемой гибели птиц на Жанатасской ВЭС с фактически установленной смертностью орлов на конструкциях ВЭС, аналогичным ей, не представляется возможным, так как условия Карагату уникальны, а в миграционных коридорах между Европой и Африкой не летят такое количество степных орлов и орлов-могильников. Пролетающие там в массе малые подорлики (*Aquila pomarina*), судя по наблюдениям в Израиле (Shamoun-Baranes *et al.*, 2003) и Египте (И.В. Карякин, личн. данные) проходят над горами на значительно больших высотах (до 500–1500 м согласно данным Shamoun-Baranes *et al.*, 2003), в диапазоне, сравнимом с падальщиками (de Lucas *et al.*, 2004), а значит более эффективно избегают столкновений с ветрогенераторами, чем степные орлы и орлы-могильники на пролёте в ЗЦГМК.

В нашем исследовании визуальные наблюдения также показали более высокий диапазон полёта больших подорликов, нежели степных орлов и орлов-могильни-

Красный коршун (*Milvus milvus*), погибший на ВЭС в результате столкновения.
Foto K. Gelpke.

Red Kite (*Milvus milvus*) killed due to a wind farm collision.
Photo by Ch. Gelpke.





Степной орёл и курганник (Buteo rufinus), летящие при сильном ветре и низкой температуре на небольшой высоте над вершиной хребта Карагатай.

Фото И. Калякина.

Steppe Eagle and Long-Legged Buzzard (Buteo rufinus) flying in strong winds and low temperatures at low altitude above the top of Karatau Ridge.

Photo by I. Karyakin.

ков, однако наблюдений мигрирующих подорликов оказалось недостаточно, чтобы определить достоверную разницу. Но в свете сведений о высоте полёта близкого вида – малого подорлика, можно предполагать, что большая, чем у степных орлов и орлов-могильников, высота перемещений больших подорликов на миграциях не артефакт наблюдений, а аналогична таковой малых подорликов, а значит этот вид лучше избегает столкновений с ВЭС, чем другие орлы.

Разброс показателей смертности птиц среди турбин в пределах одной и той же ВЭС может более чем вдвое превышать разброс показателей между разными ВЭС. Т.е. число погибших птиц может быть высоким на одной турбине, в то время как соседние турбины, которые внешне одинаковы, не наносят урон птицам, а значит местоположение турбин в ландшафте играет важную роль в продуцировании смертей от столкновений с лопастями (Barrios, Rodríguez, 2004; de Lucas *et al.*, 2012a). Однако, учитывая отсутствие подобных исследований в Казахстане, в оценке риска мы игнорировали возможную разницу между турбинами, усреднив показатели вероятной смертности для каждой турбины. В то же время, ориентируясь на треки орлов, прошедших через Жанатасскую ВЭС (см. рис. 24), можно предполагать, что турбины восточного сектора ВЭС будут убивать больше орлов, чем турбины в западном секторе, хотя возможность уклонения от лопастей при прохождении орлами западного сектора будет ниже, так как турбины стоят в два ряда.

Интересно, что через восточный сектор Жанатасской ВЭС на осеннеей миграции орлы пролетали преимущественно при слабом попутном ветре под углом 120–140° к осевой части хребта на опасных вы-

сотах, и такой характер миграции увеличивает риск столкновений при низких температурах, которые нами не учитывались. Например, наблюдения в скалистых горах показали, что во время осенней миграции беркуты с большей вероятностью пересекали гряды на высоте турбины (зона риска <150 м над землей) при встречном или попутном ветре, но эта вероятность уменьшалась с повышением температуры; наоборот, во время весенней миграции оры с большей вероятностью перемещались в пределах вершины хребта при восточном боковом ветре (Johnston *et al.*, 2013).

При появлении данных по фактической смертности птиц на турбинах Жанатасской ВЭС станет возможным анализ этой смертности относительно топографии местности и температуры окружающей среды на разных турбинах и дифференцированное моделирование уровня смертности.

Другой проблемой развития сети ВЭС в Карагатай является нарушение местообитаний, в результате чего орлы могут лишиться мест остановки на миграциях по причине избегания ВЭС. Также малоизученной остается проблема потери территорий, оптимальных для миграции по своим топографическим характеристикам. Потеря местообитаний в результате развития сети ВЭС считалась актуальной в основном для куриных (Robel *et al.*, 2004; Leddy *et al.*, 1999; Pruitt *et al.*, 2009; Zeiler, Grünschachner-Berger, 2009; Dusang, 2011; Grünschachner-Berger, Kainer, 2011; Hagen *et al.*, 2011; Brunner, Friedel, 2019). Но изучение мигрирующих коршунов в Испании показало, что влияние ветроэнергетики на парящих птиц больше, чем считалось ранее, и смертельные случаи в результате столкновений не единственный фактор, негативно влияющий на мигрантов – избегание хищными птицами ВЭС также приводит к потере среды обитания в миграционных коридорах, что может иметь долгосрочный негативный популяционный эффект (Marques *et al.*, 2020). Таким образом, с одной стороны, избегание снижает риск столкновений, с другой стороны, птицы, избегающие ВЭС, теряют благоприятные места для перелёта и остановки и, соответственно, пролетают и останавливаются в субоптимальных местах, что снижает их выживаемость на миграциях. Последний фактор остается неизученным, его влияние на орлов не известно и его сложно прогнозировать, как, собственно, и уровень избегания ВЭС орлами.

Избегание территорий после строительства ВЭС доказано для разных видов, в частности – для чёрного коршуна (*Milvus migrans*) (Ferrer *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2020). Исследование в Висконсине (США), проведённое до и после строительства ВЭС, показало, что после строительства обилие хищных птиц сократилось на 47% по сравнению с уровнем до строительства, а поведение в полёте изменялось в зависимости от вида, но большинство птиц пролетали на расстоянии не менее 100 м от турбин и выше ЗДР; грифы-индейки (*Cathartes aura*) и краснохвостые канюки (*Buteo jamaicensis*) чаще, чем все другие виды хищников, демонстрировали поведение, сопряжённое с повышенным риском столкновения, но также проявляли признаки избегания столкновений и, тем не менее, канюки гибли на ВЭС (Garvin *et al.*, 2011). В то же время, в исследованиях на нескольких ВЭС не было получено свидетельств их избегания северным лунём (*Circus hudsonius*) (Kerlinger, 2002; Schmidt *et al.*, 2003), но в другом исследовании избегание турбин лунями показано на следующий год после строительства ВЭС (Johnson *et al.*, 2000). Исследования близкого вида – полевого луня (*Circus cyaneus*) в Северной Ирландии, предполагают, что ветротурбины не избегаются птицами на охотничих участках, но локальное смещение на гнездование может происходить в зоне до 300 м вокруг турбин (данные Natural Research из: Madders, Whitfield, 2006). Ряд исследований по избеганию территории ВЭС беркутами был проведен в США, однако результаты оказались противоречивыми. В одном исследовании авторы сравнивали перемещения орлов на ВЭС и в ненарушенном участке вне ВЭС и не обнаружили разницы (Schmidt *et al.*, 2003), в другом – проводились исследования до и после строительства ВЭС, которые также не показали каких-либо достоверных уровней избегания орлами территории ВЭС после её строительства (Johnson *et al.*, 2000). На крупной ВЭС на перевале Альтамонт в Калифорнии было отмечено некоторое избегание орлами ВЭС относительно ненарушенного участка (Hunt *et al.*, 1995), но спустя почти 10 лет отмечена тенденция к увеличению использования территории ВЭС хищными птицами, причём авторы специально отметили, что какое-либо избегание хищными птицами ВЭС, отмечавшееся ранее, больше не наблюдается (Smallwood, Thelander, 2004). Но в разрез с этими данными получены свидетельства избегания местности

территориальными беркутами после строительства в ней ВЭС, и это снова в Шотландии (Walker *et al.*, 2005). Но при этом неполовозрелые птицы также продолжали посещать ВЭС, как и ранее. В дальнейших исследованиях в Шотландии было подтверждено избегание центральных частей ВЭС и неполовозрелыми кочующими беркутами, хотя по периферии ВЭС они всё же перемещались в опасной близости от ветрогенераторов (Fielding *et al.*, 2021). Таким образом, даже по одному виду – беркуту, наименее толерантному к деятельности человека из настоящих орлов, невозможно даже приблизительно прогнозировать уровень избегания ВЭС.

Если же избегания не будет происходить, то ВЭС, построенные в местах регулярной остановки мигрантов, будут увеличивать риск столкновений по той причине, что птицы в пределах ВЭС будут совершать посадки и взлёты, существенно чаще проходя через ЗДР, чем на транзитном пролёте через Карагату.

Для выявления видов с высоким риском сокращения численности из-за столкновений с ветротурбинами в США рассчитано влияние смертности от турбин на снижение прироста популяций, тренды которых были получены либо по учётам гнездящихся птиц, либо на основе матричной модели на основе демографических значений, полученных из литературы, а также подсчитано количество смертельных случаев, при которых популяции ещё способны поддерживать стабильность. Расчёты показали, что из 14 изученных видов к числу тех, у которых относительно высок потенциал воздействия на популяции в результате столкновений с ветряными турбинами, относятся беркут, королевский (*Buteo regalis*) и краснохвостый канюки, американская пустельга (*Falco sparverius*) и сипуха (*Tyto furcata*) (Diffendorfer *et al.*, 2021). Следовательно, можно предполагать, что в условиях Евразии все орлы будут в основной группе риска при наращивании объёмов ВЭС.

Даже зная примерную численность, продуктивность и уровень выживаемости молодых до половой зрелости в популяциях орлов, мигрирующих в ЗЦГМК, и отдельно через Карагату, невозможно корректно спрогнозировать влияние ВЭС как в части потери местообитаний, так и в части избыточной смертности. Т.е., пока мы не начнём наблюдать крушение популяций, мы не сможем точно сказать, сколько потребуется убить орлов на ВЭС, чтобы это стало заметно.

Для распространённых видов птиц влияние столкновений с ветряными турбинами вряд ли заметно на популяционном уровне, поскольку расчётная смертность составляет менее 0,01% от численности их популяции (см. пример из Канады: Zimmerling *et al.*, 2013). Но для долгоживущих хищных птиц с низкой плотностью популяций и медленными темпами воспроизводства даже низкие уровни избыточной смертности могут иметь последствия на уровне популяций в долгосрочной перспективе (Saether, Bakke, 2000; Manville, 2009). Такие виды, к ним относятся все орлы, в отличие от видов с более низкой выживаемостью и более высокой плодовитостью, как правило не способны противостоять избыточной антропогенной смертности (см., например, Sandercock *et al.*, 2011). Результаты моделирования на основе матричной модели Лесли показывают, что жизнеспособность популяции может быть очень чувствительной к пропорционально небольшому увеличению смертности и вместо незначительного эффекта обнаружилось, что дополнительная смертность на 1% в популяциях ряда изученных видов, в том числе орлана-белохвоста и болотного луна (*Circus aeruginosus*), привела к снижению численности на 2–24% через 10 лет, а допущение увеличения смертности на 5% по сравнению с существующей смертностью привело к снижению численности на 9–77% через 10 лет (Schippers *et al.*, 2020) – и это для видов, увеличивающих численность.

Фактические наблюдения в природе показывают, что столкновения стервятников (*Neophron percnopterus*) в Испании, где проживает 80% европейской гнездящейся популяции, способствовали сокращению численности (Carrete *et al.*, 2009), то же самое происходит с популяцией красного коршуна (*Milvus milvus*) в Германии из-за дополнительной смертности от столкновения с ветротурбинами (Bellebaum *et al.*, 2013; Grünkorn *et al.*, 2016).

Особенно неустойчивыми к избыточной смертности являются популяции с низкой плотностью и/или сокращающиеся в численности (Nichols *et al.*, 1984; Bartmann *et al.*, 1992). Именно это мы имеем в ситуации со степным орлом, который внесён в список глобально угрожаемых видов МСОП из-за сокращения численности фактически на всём протяжении своего ареала (Карякин, 2018; Garbett *et al.*, 2018; BirdLife International, 2020).

Многие источники антропогенной смертности также могут кумулятивно

работать вместе на сокращение численности популяций в разных местах на протяжении их жизненных циклов (Loss *et al.*, 2012; Schippers *et al.*, 2020). Например, численность гнездящихся белоголовых сипов на контрольной территории в Испании уменьшилась на 24%, выживаемость взрослых особей на 30% и плодовитость на 35% в результате совместного влияния закрытия подкормочных площадок и гибели на ВЭС, однако популяция восстановилась, как только подкормка была восстановлена, а самые проблемные ВЭС закрыты; исследование показало, что на продуктивность и выживаемость влияли в основном ВЭС, а нехватка пищи способствовала изменению поведения и удлиняло кормовые перемещения сипов, увеличивая риск столкновений (Martinez-Abrain *et al.*, 2012).

Кумулятивная смертность в результате столкновения с ветрогенераторами (Gauthreaux, Besler, 2003) + смертность на АЭП в результате поражения электротоком (Lehman *et al.*, 2007; Prinsen *et al.*, 2011; Карякин, 2012; Николенко, Карякин, 2012; Dixon *et al.*, 2013; Loss *et al.*, 2014; Guila, Pérez-García, 2022) + отложенная смертность, вызванная антикоагулянтными родентицидами второго поколения (Thomas *et al.*, 2011; Elliott *et al.*, 2014; Rattner *et al.*, 2014) – и мы имеем более чем избыточный набор причин, определяющих сокращение численности популяций, например, того же степного орла. Поэтому в целях сохранения редких видов оправдан предупредительный подход (Cooney 2004), при котором минимизация, а лучше полное исключение смертности птиц должны требоваться от потенциально опасных отраслей и видов деятельности (Longcore, Smith, 2013) как на государственном уровне, так и на уровне самих компаний, беспокоящихся о своих рейтингах и репутационных рисках.

Для стран Евросоюза сформулированы следующие рекомендации по строительству ВЭС (из Zwart *et al.*, 2016):

1. ВЭС не следует строить на территориях, которые часто используются видами, чувствительными к столкновениям или иным проблемам, создаваемым ветротурбинами. К ним относятся территории, важные для пернатых хищников, такие, как горные хребты и ключевые места кормодобывания. Кроме того, ВЭС не следует строить в районах, где происходит большое число перелётов чувствительных видов, например, в пунктах пересечения миграций или между районами гнездования и

кормления (Langston, Pullan, 2003; Percival, 2005; Hötker *et al.*, 2006; Bright *et al.*, 2008).

2. ВЭС не следует строить на территориях, которые определены как участки международной или национальной природоохранной деятельности или имеют право на них (Langston, Pullan, 2003).

3. ВЭС следует размещать так, чтобы они были параллельны основному направлению пролёта птиц (Hötker *et al.*, 2006). Например, они могут быть размещены параллельно маршруту миграции или перелётов между местами ночёвки и кормления.

4. ВЭС должны иметь коридоры, чтобы птицы могли легко перемещаться между ними (Hötker *et al.*, 2006).

5. Ветровые турбины не должны создавать условия для присад и тем более гнездования и прочие условия, которые могли бы привлечь птиц (Hötker *et al.*, 2006).

6. Высота мачты должна быть выбрана так, чтобы риск столкновения был низким и/или любое нарушение было минимальным (Hötker *et al.*, 2006).

Эти меры призваны обеспечить размещение ВЭС в подходящем месте, которое минимизирует неблагоприятное воздействие на дикую природу (Directive 2011/92/EU, 2012).

В Канаде (Kingsley, Whittam, 2005) действуют аналогичные руководящие принципы, как и в Европе. В США требования к обследованию, предшествующему строительству, сильно различаются в зависимости от штата, причём в ряде штатов госорганами изданы очень подробные инструкции относительно размещения ВЭС (Jodi Stemler Consulting, 2007; USFWS, 2012).

В Казахстане также имеется законодательный документ – Свод правил Республики Казахстан СП РК 4.04-112-2014 «Проектирование ветряных электростанций» (2015), в котором п. 14. «Оценка воздей-

ствия на окружающую среду» по сути является отпиской от проблемы, никак не регламентирует строительство ВЭС в местах, чувствительных для биоразнообразия, и не формулирует требования по снижению влияния ВЭС на птиц, полностью передавая это на проектные организации, которым не выгодно замечать птиц в ходе проектирования ВЭС:

п.п. 14.3. При разработке раздела ОВОС необходимо учитывать данные местных органов исполнительной власти в сфере охраны окружающей среды по экологической ценности территории, в том числе о наличии редких или исчезающих видов растений и животных, о путях миграции птиц и т.д.

п.п. 14.4. При проектировании ВЭС, имеющей в своем составе более трёх ВЭУ, необходимо силами специализированной организации орнитологического профиля осуществить посезонное наблюдение за миграцией птиц.

п.п. 14.5. По рекомендации специализированной организации рекомендуется предусматривать меры, предотвращающие вред орнитофауне, за счёт покрытия лопастей флуоресцентными красками, установки звуковых сигналов, отпугивающих птиц, подсветка опор и лопастей ВЭУ вочные часы, во время туманов и при других условиях недостаточной видимости.

Так как в случае с Жанатасской ВЭС, через которую мигрирует большое количество степных орлов, время для предупредительного подхода уже уплачено и ВЭС построена в нарушение всех вышеприведённых рекомендаций, то необходимы срочные меры по смягчению её воздействия на мигрантов и, в первую очередь, на сокращающих численность степных орлов.

К сожалению, существующих инструментов или мер с доказанным и эффективным влиянием на снижение столкновений птиц с ветротурбинами крайне мало. В то же время в цивилизованных странах спрос на такие меры со стороны государственных природоохранных органов, разработчиков ВИЭ, неправительственных организаций и обеспокоенной общественности растёт (Voigt *et al.*, 2019).



Жанатасская ВЭС. Фото ChinaSPIC.

Zhanatas WPP. Photo from ChinaSPIC.

Из мер по сокращению гибели птиц на уже построенных ВЭС в разных странах предложены и/или опробованы следующие варианты:

- а) сокращение периода работы,
- б) акустические методы,
- в) визуальные методы.

Сокращение периода работы, т.е. отключение в самые уязвимые периоды года, например, в периоды миграции, было предложено в качестве меры минимизации смертей птиц от столкновений в результате нескольких исследований (de Lucas *et al.*, 2012a; Marques *et al.*, 2014; May *et al.*, 2015; Tomé *et al.*, 2017) и включено в рекомендации МСОП в качестве наиболее эффективной меры предотвращения столкновений птиц с ветрогенераторами (Bennun *et al.*, 2021). Программа выборочной остановки особо опасных турбин была опробована в Испании и показала сокращение смертности белоголовых сипов на 50% (de Lucas *et al.*, 2012a). То же самое можно сказать и об исследовании в США, где ежегодное отключение в течение отдельных сезонов или в определённых погодных условиях снижало смертность крупных птиц (беркутов) и летучих мышей, но при этом даже остановленные турбины вызывали столкновения с ними мелких птиц иочных мигрантов (Smallwood, Bell, 2020). Остановка турбин после обнаружения птиц в режиме реального времени с помощью радара или видеонаблюдения, особенно в плохую погоду, увеличивающую риск столкновений, была реализована в Швеции (Litsgård *et al.*, 2016), Норвегии (May, 2017) и Португалии (Tomé *et al.*, 2017) и показала свою эффективность.

Современные радары обнаруживают мелких птиц на расстоянии от 2 до 5 км, а крупных – до 12–15 км (Dokter *et al.*, 2011; Nilsson *et al.*, 2018; Phillips *et al.*, 2018; Bennun *et al.*, 2021). В частности радар Accipiter® eBirdRad (Accipiter Radar Technologies, Inc.; Fonthill, ON, Canada) обнаруживал сипов и грифов, помеченных трансмиттерами, на расстоянии до 5 км (Beason *et al.*, 2010); Robin Radar Max®, ориентированный только на поиск птиц, имеющий неограниченное поле зрения, развернутый на ВЭС Тахколуото в Финляндии для предотвращения столкновений с ветрогенераторами орланов-белохвостов и на ВЭС Каварны в Болгарии для предотвращения столкновений мигрирующих и ключевых (орлы, падальщики) видов, показал максимальное расстояние обнаружения крупных птиц до 15 км (Bennun

et al., 2021); STRIX Birdrack®, ориентированный как на птиц, так и на летучих мышей, развернутый на Баран-де-Сан-Жуан в Португалии, обнаруживал крупных птиц на дистанции до 12 км и полностью устранил смертельные столкновения за более чем 5 лет функционирования (радар использовался в сочетании с наблюдателями) (Tomé *et al.*, 2017), а после развертывания в Египте обнаруживал стаи крупных птиц на дистанции до 20 км и сократил число смертельных столкновений до 5–7 в год при проходе через ВЭС около 400 тыс. мигрирующих птиц каждый сезон (Tomé *et al.*, 2019).

Однако радары не могут выполнять прямую классификацию видов, поэтому для обслуживания радара и анализа полученных данных необходим биолог (Ruhe, 2008; van Gasteren *et al.*, 2019), который и будет принимать решение об остановке турбины (Bennun *et al.*, 2021). Требующиеся специалисты-биологи для работы с радаром, высокая цена (Robin Radar Max® – 500 тыс. USD), большой размер и энергопотребление, а также государственные нормы излучения, ограничивающие частоту и мощность луча, являются главными барьерами для широкого применения радаров с целью обнаружения птиц на большом количестве ВЭС (Gründiger, 2017).

В последнее десятилетие, с развитием возможностей графических процессоров и алгоритмов обработки изображений на основе искусственного интеллекта, системы обнаружения на основе машинного зрения (видеосистемы) становятся всё более продуктивными (Adams *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2019; Albertani *et al.*, 2021; Gradolewski *et al.*, 2021). Одна камера может обнаруживать летящую птицу и выполнять видовую идентификацию. Однако самые последние системы используют стереоскопию, которая расширяет их возможности по обнаружению птиц (May *et al.*, 2012; McClure *et al.*, 2018). Стереоскопические системы могут обеспечить такие же характеристики оценки дистанций до летящих птиц, как и радиолокационные, но только в диапазоне до 1 км (McClure *et al.*, 2018; Gil *et al.*, 2018). В последние годы для автоматического обнаружения птиц на ВЭС для остановки турбин было разработано несколько систем, использующих дальности обнаружения птиц от 300 м до 1500 м, которые уже внедрены и проверены: DTBird (2017; 2021), SafeWind (Biodiv-Wind, 2021), IdentiFlight (2021), BirdVision (2021) и Airelectronics (Vulture..., 2020), или находятся в стадии полевых испытаний

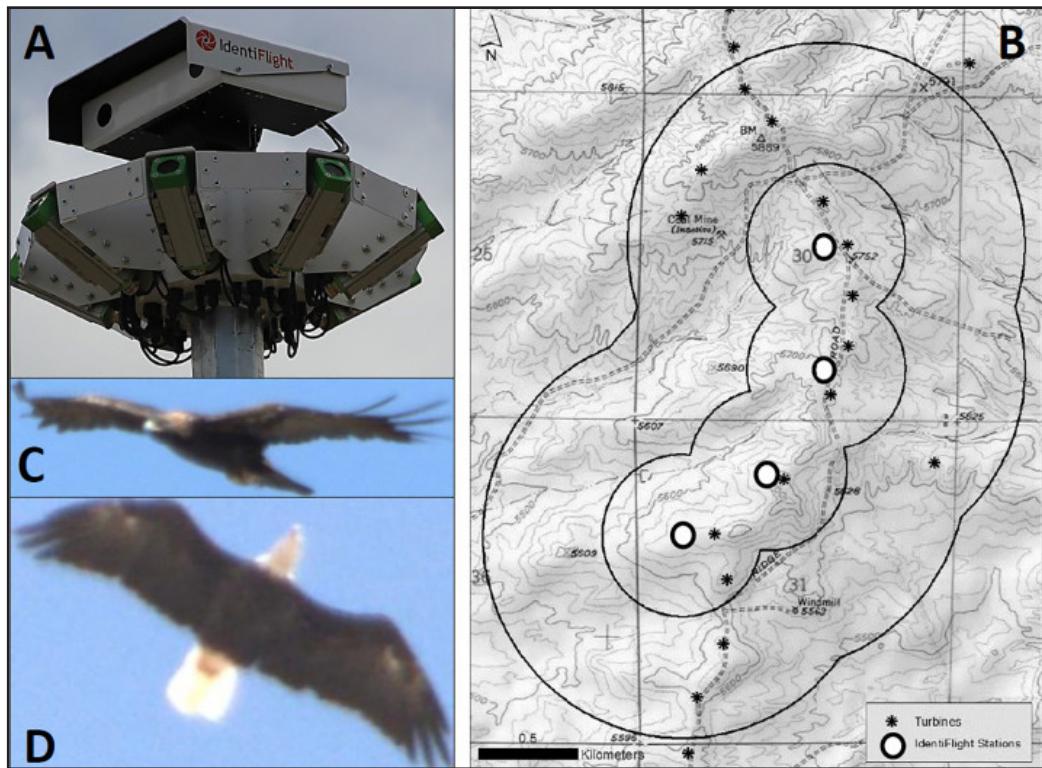


Иллюстрация из статьи McClure et al., 2018: А – система камер IdentiFlight, показывающая несколько камер с широким полем обзора и стереокамеру высокого разрешения, установленную на блоке панорамирования и наклона; В – карта ВЭС с буферами шириной 1 км (комбинированная зона визуального покрытия, внешний многоугольник) и 400 м (внутренний многоугольник) вокруг устройств IdentiFlight; С – фотография беркута, сделанная и правильно классифицированная IdentiFlight; Д – фотография белоголового орлана (*Haliaeetus leucocephalus*), сделанная и правильно классифицированная IdentiFlight.

Illustration from an article by McClure et al., 2018: A – IdentiFlight Camera System showing several of the Wide Field of View cameras and the High Resolution Stereo Camera mounted on a Pan and Tilt unit. B – Map of the study site with 1 km (the combined zone of visual coverage, outer polygon) and 400 m (inner polygon) buffers shown around IdentiFlight units. C – Photograph of a Golden Eagle that was taken and correctly classified by IdentiFlight. D – Photograph of a Bald Eagle (*Haliaeetus leucocephalus*) that was taken and correctly classified by IdentiFlight.

(Adams et al., 2017). Большинство доступных на рынке систем основаны на моноспектральном подходе и только в IdentiFlight, а также в системе, разрабатываемой институтом исследований биоразнообразия (BRI), совместно со школой вычислительной техники и информатики Ороно Университета штата Мэн (UMaine SCIS), компанией HiDef Aerial Surveying Limited (HiDef) по производству полупроводников для возобновляемых источников энергии и SunEdison, Inc. (см. Adams et al., 2017), применяется стерео-видение и встроенный классификатор, позволяющий классифицировать птиц на три разные группы. Автоматическое отключение ветряных турбин с помощью видеосистемы IdentiFlight, установленной на ВЭС в США, оказалось эффективной мерой для уменьшения столкновения хищных птиц размером от пустельги, сократив случаи столкновений на 82%, причём система обнаружила на 562% больше птиц, чем наблюдатели (McClure et al., 2018). Для улучшения работы стереосистем с целью обна-

ружения и распознавания птиц разработан и показал свою эффективность метод автоматического обнаружения и реагирования (ADaRM) (Gradolewski et al., 2021). Следует ожидать, что такие системы будут дальше развиваться, а их производство удешевляться и они станут доступными для использования на многих низкобюджетных ВЭС.

Также для снижения смертности от столкновений предлагалась такая полумера, как смещение включения конкретных турбин со скорости ветра в 5–8 м/с на более высокие скорости, чтобы снизить риск столкновения птиц при слабом ветре (Barrios, Rodriguez, 2004; Smallwood et al., 2009), однако эффективность этой полумеры не проверена долгосрочными исследованиями на мигрантах.

Воспроизведение звуков высокой интенсивности при подходе птиц к ветротурбинам имеет ограниченную эффективность из-за привыкания (May et al., 2015), и вообще не разработано для отпугивания хищных птиц. Устройства, проецирующие

широкополосный ультразвук от 20 до 110 кГц, были разработаны и исследованы для снижения смертности на ВЭС летучих мышей, показав не очень эффективное сокращение смертности на экспериментальных ветротурбинах – в диапазоне от 2% до 64% (Arnett *et al.*, 2013). Но из-за физиологических различий летучих мышей и птиц технические решения на основе акустики для комплекса видов, имеющих повышенный риск к столкновениям, невозможны (Arnett, May, 2016).

В качестве визуальных маркеров, которые демонстрируют птицам опасность или просто улучшают видимость потенциально опасных структур, предлагалось нанесение ультрафиолетовой краски на лопасти ротора, чтобы снизить столкновения с лопастями дневных хищных птиц и ряда других видов, чувствительных к ультрафиолетовому излучению (Young *et al.*, 2003), или освещение турбин в ночное время (пульсирующий свет, синие или зелёные огни) для снижения смертности ночных птиц (Johnson *et al.*, 2007; Poot *et al.*, 2008) и даже окрашивание оснований башен для снижения смертности куриных птиц в результате столкновений даже не с лопастями, а с опорами ветротурбин (Stokke *et al.*, 2020). Окрашивание лопастей ультрафиолетовой краской не подтвердило эффективности (Hunt *et al.*, 2015), но при этом лабораторные эксперименты показали, что окраска одной из лопастей ротора в чёрный цвет может помочь уменьшить

смазывание движения и позволит птицам увидеть ЗДР, что снизит риск столкновений (Hodos, 2003). Автор рекомендовал провести дальнейшие полевые испытания, чтобы определить эффективность покраски в снижении смертности от столкновений. Подобные эксперименты были проведены на ВЭС Смёла в Норвегии и показали эффективность 70% для предотвращения столкновений среди всех видов птиц и 100% для предотвращения столкновений хищных птиц (May *et al.*, 2020).

Университет штата Орегон разработал систему визуального отпугивания орлов, в которой использовались надувные антропоморфные объекты со случайным кинетическим движением (Albertani *et al.*, 2021), однако пока нет серьёзных доказательств её эффективности и в экспериментах она применялась в паре с системой видеонаблюдения, предупреждавшей о появлении орла близ турбины.

Вышеприведённый обзор показывает, что только остановка турбин при подлёте птиц является эффективным методом смягчения последствий строительства ВЭС в миграционном коридоре. Однако оборудование для автоматизации остановки турбин достаточно дорогое как по стоимости приобретения, так и в обслуживании, поэтому вряд ли небольшие компании согласятся на его установку. Перспективной выглядит покраска лопасти в чёрный цвет, однако этот метод требует более детальных исследований в миграционных коридорах на комплексе видов.

Заключение

ВЭС в Казахстане только начинают развиваться и пока не нанесли серьёзного ущерба орлам и другим хищным птицам. Однако при «диком» развитии ветроэнергетики этот ущерб уже в ближайшем будущем может стать колossalным и оказаться существенным фактором в сокращении численности популяций крупных хищников, в первую очередь степного орла, численность которого сокращается достаточно быстрыми темпами (см. Карякин, 2018; Карякин и др., 2019f; Пуликова и др., 2021).

Как показывает практика строительства Жанатасской ВЭС, даже компании, ориентированные на сохранение биоразнообразия и учитывающие репутационные риски (например, ЕБРР), при инвестировании средств в так называемую «зелёную энергетику» закрывают глаза на некачественную подготовку проектной документации.



Ветротурбина на ветроэлектростанции Смёла (Норвегия) с окрашенными лопастями ротора. Фото из: May *et al.*, 2020.

*Wind turbine at Smøla wind-power plant (Norway) with painted rotor blade. Photo from: May *et al.*, 2020.*

тации, которая готовится с нарушением европейских стандартов и методик, не содержит актуальную информацию о биоразнообразии и создаёт лишь видимость работы по оценке рисков для редких видов животных (см. EcoSocio Analysts LLC, 2019). При оценке возможного влияния Жанатасской ВЭС на популяции мигрирующих орлов проектировщики вполне могли бы использовать информацию по миграциям, которая доступна онлайн на интерактивных картах^{57, 58}, однако этого не было сделано. Слабо проработанный в плане оценки рисков для биоразнообразия проект был пропущен экспертами всех инвесторов. Это свидетельствует о том, что в Казахстане избыточное использование данных, осложняющих строительство опасных для биоразнообразия объектов, не выгодно ни инвесторам, ни проектировщикам и безразлично госаппарату, а слабое гражданское общество не в состоянии противостоять наступлению бизнеса на природу. Поэтому, чтобы препятствовать внедрению «грязных» технологий (даже если они выдаются за «зелёные»), негативно влияющих на биоразнообразие, необходимо активное влияние на участников рынка со стороны экспертного сообщества и лиц, принимающих решения. А для этого необходима качественная информационная поддержка исследований возможных рисков. Поэтому для данной статьи была поставлена основная цель – донести до экспертного сообщества и лиц, принимающих решения, информацию о важности востока Казахстана для хищных птиц в масштабах Евразии и показать, что большое число птиц с огромной территории может стать жертвами развития ВЭС на маленькой территории, через которую идёт поток мигрантов континентального масштаба. Мы надеемся, что результаты данного исследования будут использованы в оценке проектов развития ВЭС и проекты, потенциально наиболее опасные для редких видов птиц, будут отклонены.

В настоящее время в ЗЦГМК в пределах Казахстана функционирует несколько ВЭС. Помимо Жанатасской, также в ЗЦГМК, но восточнее Карагату, запущена в эксплуатацию Кордайская ВЭС ($N 43,334736^{\circ}$ E $74,965691^{\circ}$) у пос. Кордай Жамбылской области, разрабатывавшаяся при поддержке ПРООН (Тредован и др., 2008). В настоящее время эта ВЭС сформирована 41 тур-



Кордайская ВЭС. Фото IVY Photo.

Korday WPP. Photo from IVY Photo.

биной на площади $1,55 \text{ км}^2$. Первая часть ветропарка, владельцем которой является ТОО «Vista International», мощностью 21 МВт (средняя годовая выработка: 72000 тыс. кВт/ч, коэффициент использования установленной мощности: 40%) запущена в эксплуатацию в 2014 г. Вторая часть ветропарка, владельцем которой является ТОО «Ветро Инвест», мощностью 30,65 МВт (средняя годовая выработка: 114000 тыс. кВт/ч, коэффициент использования установленной мощности: 40%) запущена в эксплуатацию в 2014 г. (Карта..., 2019). В 2020 г. были введены в эксплуатацию две ВЭС у пос. Коктал Жамбылской области ($N 43,287828^{\circ}$ E $70,312958^{\circ}$): ВЭС Коктал-1, владельцем которой является ТОО «Wind Power city» и Коктал-2, владельцем которой является ТОО «Wind Electricity». Установленная мощность каждой ВЭС 4,95 Мв (АО «KEGOC»..., 2020). О влиянии этих ВЭС на птиц также нет никакой доступной информации, особенно по Кордайской ВЭС, имеющей более чем 5-летний срок эксплуатации.

Собственно для Казахстана до сих пор нет вообще никаких сведений о гибели редких видов на ВЭС, несмотря на то, что некоторые из них введены в эксплуатацию в районах с повышенной плотностью гнездящихся и зимующих крупных пернатых

⁵⁷ <http://rrrcn.ru/ru/migration/se2018>

⁵⁸ <http://rrrcn.ru/ru/migration/se2020>

хищников (Исатайский район Атырауской области, Ерейментау). Эта информация или игнорируется владельцами ВЭС, или специально скрывается. И этот пробел должен быть закрыт в ближайшее время целевыми исследованиями.

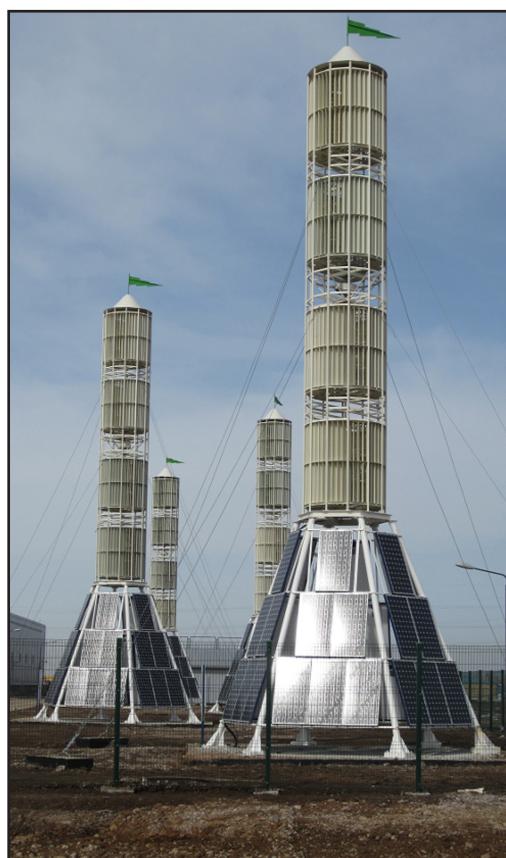
Совокупное воздействие ВЭС на окружающую среду может быть ниже, чем у других источников электроэнергии (Sovacool, 2012; 2013), а учитывая цели по сокращению выбросов парниковых газов можно предполагать, что ветровая энергетика будет стремительно развиваться, чтобы сократить использование ископаемых видов топлива и затормозить потенциально негативную динамику климата. Развитие ВЭС будет идти и в Казахстане, несмотря на многочисленные проблемы (Орлов, 2012; Антонов, 2014; Karatayev, Clarke, 2014; Атагельдиева, Калимбетов, 2015; Ахметкалиева, 2020). В стране в 2009 г. был принят закон «О государственной поддержке использования возобновляемых источников энергии» (Закон..., 2009), который позволил значительно увеличить генерирующие мощности на ВИЭ, увеличив их долю до 10% от общего потребления электрической энергии и к 2024 г. новыми казахстанскими ВЭС вероятно уже будет произведено 10 млрд. кВт/час электроэнергии, что обеспечит годовую экономию ископаемого

топлива в объеме 3–3,5 млн. тонн и значительно улучшит экологическую обстановку в стране (Упушев, Болатбек, 2012).

Поэтому для сохранения редких видов птиц насущно необходимы решения на государственном уровне о запрете строительства ВЭС с горизонтальной осью вращения в миграционных коридорах, в частности, на всём протяжении ЗЦГМК. Но так как важность развития ВЭС очевидна, должны быть предприняты, опять же, государственные усилия по поддержке развития и внедрения альтернативных конструкций ВЭС, которые не влияют негативно на мигрирующих птиц и могут устанавливаться как точечно, так и в виде целых парков в миграционных коридорах за пределами зоны остановок птиц. К таким установкам можно отнести:

а) турбины с вертикальной осью (Hyams, 2012; Kjellin, 2012; Whittlesey, 2017; Adefarati, Bansal, 2019; Li, 2019), как, например, Виндротор Болотова (Болотов и др., 2007; Болотов, 2011), который уже используется в Казахстане (ИТАР-ТАСС, 2010; Болотов, Болотов, 2019; Школьник и др., 2019) и перспективен как для внедрения в предприятия малого бизнеса и частные хозяйства, особенно удалённые от цивилизации (Болотов и др., 2019; Polyakova *et al.*, 2019), так и для интеграции в региональные энергосети, при некоторой доработке систем автоматизации и диспетчерского управления (Ибраев, Муслимов, 2017), но не имеет финансовой поддержки для развития;

б) ветрогенераторы резонансной энергии, вызванной ветровыми завихрениями (использующие явление аэроупругого резонанса) (Barrero-Gil *et al.*, 2012; Mueller-Vahl *et al.*, 2013; Bodkhe, 2018; Haridass *et al.*, 2018; Paré-Lambert, Olivier, 2018; Vishnu *et al.*, 2019; Raghuwanshi *et al.*, 2020), как, например, Vortex Bladeless (Yáñez, 2015; 2018; Francis *et al.*, 2021), которые пока отсутствуют в Казахстане, но имеют более серьёзную финансовую и научную поддержку для продвижения в зарубежных странах, чем турбины с вертикальной осью, и, вероятно, в скором времени составят серьёзную конкуренцию классическим ветрогенераторам с горизонтальной осью вращения.



Виндротор Болотова.
Bolotov Windrotor.

Рекомендации

Для сохранения хищных птиц, мигрирующих в ЗЦГМК, в особенности степных орлов, правительству Казахстана необходимо:

1. Объявить мораторий на строительство новых ВЭС, использующих лопастные ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения на всём протяжении основного русла пролёта хищных птиц в ЗЦГМК. Это не касается развития ВЭС, укомплектованных виндроторами Болотова или ветрогенераторами резонансной энергии, устанавливаемых за пределами мест концентрации хищников на миграционных остановках.

2. Обязать собственников уже установленных ВЭС полностью отключать их на 113 дней во время осенней миграции с 5 августа по 25 ноября и на 77 дней во время весенней миграции – с 22 февраля по 9 мая до тех пор, пока ими не будут приняты меры по автоматизации процесса отключения ветрогенераторов при подлёте к ним птиц путём установки радаров или стереосистем видеонаблюдения.

3. Разработать новый свод правил «Проектирование ветряных электростанций», регламентирующий проектирование ВЭС в местах, чувствительных для биоразнообразия, и перечисляющий обязательные меры по смягчению негативного влияния ВЭС на биоразнообразие.

Собственникам ВЭС необходимо:

1. Озаботиться оснащением ВЭС автоматическими системами предупреждения столкновений птиц с турбинами на основе радаров или стереосистем видеонаблюдения.

2. На период работы ВЭС между миграциями до их оборудования автоматическими системами предупреждения столкновений для снижения риска столкновений с ветрогенераторами гнездящихся и зимующих в районе ВЭС птиц провести покраску лопастей в соответствии с рекомендациями норвежских исследователей (см. May *et al.*, 2020).

Хорошой альтернативой развитию мега-ветропарков, требующих серьёзных затрат на смягчение их негативного влияния на птиц, могло бы стать развитие сети безопасных для птиц установок малой мощности, типа ВРТБ, которые могут устанавливаться автономно на предприятиях малого бизнеса, фермах, удалённых технических объектах промпредприятий и добывающих компаний и не нести сопутствующих для птиц угроз

в виде птицеопасных ЛЭП и дополнительных дорог.

Благодарности

Реализация данного проекта стала возможной благодаря сотрудничеству Российской сети изучения и охраны пернатых хищников (RRRCN) с ООО «Сибэкоцентр» (Новосибирск, Россия) и Ассоциацией сохранения биоразнообразия Казахстана (АСБК), взявшими на себя организацию экспедиций в России и Казахстане. Поддержали проект финансово: Алтай-Саянское отделение WWF-России, фонд «Мир вокруг тебя» корпорации «Сибирское здоровье», Русское географическое общество (проект «Орлы России»), Rufford Foundation, Global Greengrants Fund, The Altai Project / Earth Island Institute, ТНК «Казхром», компания Aquila (предоставила 2 трекера бесплатно), ММЕ / BirdLife Hungary, компания «Мегафон», а также частные спонсоры М.М. Плахота и Е.А. Павлова в рамках проекта «Паспорт для орла». Огромное число людей откликнулось на призыв финансово поддержать прослеживание орлов во время акции «Закинь орлу на мобилку!», которая была организована с помощью Центра реабилитации диких животных (Новосибирск, Россия). В организации работ на местах помогли заповедники «Убсунурская котловина», «Хакасский» и национальный парк «Сайлюгемский». В связи с этим, авторы благодарят все поддержавшие проект организации, а также частных спонсоров, многие из которых оказались неизвестными. Отдельная благодарность Дженифер Кастанер, Вере Вороновой и Сергею Скляренко за помощь в поиске источников финансирования, Виктории Шуркиной, Диннею Балбан-оолу, Владиславу Канзаю, Александру Куксину, Денису Маликову и Эркину Тадырову за всестороннюю помощь в полевой работе в Алтай-Саянском регионе, Анне Барашковой, Роману Бахтину, Алексею Вагину, Сергею Важкову, Алексею Грибкову, Бауржану Исқакову, Премсагару Местри (Premsagar Mestri), Анне Панжиной, Олегу Ширяеву и Александру Милежику за участие в экспедициях.

Работа по определению пола орлов молекулярно-биологическими методами была поддержана программой № 41 Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и программой фундаментальных научных исследований (проект 0310-2019-0003).

Литература / References

(доступность электронных источников проверена 08.12.2021 / Availability of electronic sources verified 08/12/2021)

Андреенков О., Андреенкова Н., Барашкова А., Зиневич Л., Калякин И., Николенко Э., Пуликова Г., Смелянский И., Шнейдер Е. Орёл-могильник (*Aquila heliaca*), степной орёл (*Aquila nipalensis*), большой подорлик (*Aquila clanga*). – Пернатые хищники Мира (Веб-ГИС «Фаунистика»). 2021. [Andreyenkov O., Andreyenkova N., Barashkova A., Zinevich L., Karyakin I., Nikolenko E., Pulkova G., Smelansky I., Schnayder E. Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*). – Raptors of the World (Web-GIS "Faunistics"). 2021.] URL: <http://rrrcn.wildlifemonitoring.ru>

Антонов О. Зеленая энергетика Казахстана в 21 веке: мифы, реальность и перспективы. Алматы, 2014. 46 с. [Antonov O. Green energy of Kazakhstan in the 21st century: myths, reality and prospects. Almaty, 2014: 1–46. (in Russian).] URL: <https://avidreaders.ru/download/zelenaya-energetika-kazakhstan-v-21-veke.html?f=pdf>

АО КазНИПИИТЭС «Энергия» – Новые победы на рынке проектирования ВИЭ. – Энергия. 2017. [JSC KazNIPITES "Energy" – New victories in the RES design market. – Energy. 2017. (in Russian).] URL: https://energia.kz/ru/news/ao-kaznipiites-energiya---novye-pobedy-na-rynke-proektirovaniya-vie_15

АО «KEGOC». Годовой отчёт – 2020. 2020. [KEGOC. Annual report 2020. 2020.] URL: <https://www.kegoc.kz/ru/for-investors-and-shareholders/raskrytie-informatsii/annual-reports>

Атагельдиева А.Ж., Калимбетов Г.П. Перспективы использования ветроэнергетического потенциала Казахстана для производства электроэнергетики. – Успехи современного естествознания. 2015. № 11, ч. 2. С. 191–193. [Atageldiyeva A.Z., Kalimbetov G.P. Prospects of use of wind power capacity of Kazakhstan for production of power industry. – Advances in current natural sciences. 2015. 11(2): 191–193. (in Russian).] URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35700>

Ахметкалиева С. Потенциал ветровой энергии в Казахстане. – Евразийский научно-исследовательский институт при Международном казахско-турецком университете имени Х.А. Ясави. 2020. [Akhmetkaliyeva S. Potential of Wind Energy in Kazakhstan. – Eurasian Research Institute at H.A. Yassawi Kazakh Turkish International University. 2020.] URL: <https://www.eurasian-research.org/publication/potential-of-wind-energy-in-kazakhstan/?lang=ru>

Байрашев Р., Бевза И., Белялов О., Дякин Г., Исабеков А., Катунцев А., Кыдыр А., Федоренко В., Шмыгалев С. Степной орёл *Aquila nipalensis* (Hodgson, 1833). [Bayrashev R., Bevza I., Belyalov O., Dyakin G., Isabekov A., Katuntsev A., Kydyr A., Fedorenko V., Shmygalev S. Steppe Eagle *Aquila nipalensis* (Hodgson, 1833).] – Kazakhstan birdwatching community. 2021. URL: <https://birds.kz/v2taxgal.php?s=103>

Барашкова А.Н., Смелянский И.Э. Новые находки пернатых хищников в Восточном Казахстане. – Пернатые хищники и их охрана. 2014. № 28. С. 74–88. [Barashkova A.N., Smelansky I.E. New Records of Raptors in Eastern Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2014. 28: 74–88.] DOI: 10.19074/1814-8654-2014-28-74-88. URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/25598>

Барбазюк Е.В., Бакка С.В., Барашкова А.Н., Семёнов А.Р., Смелянский И.Э. Итоги предварительного мониторинга ги-

бели 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>

Бекмансуров Р.Х. Адаптивные возможности орла-могильника при освоении ЛЭП для гнездования в Республике Татарстан, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2015. № 31. С. 130–152. [Bekmansurov R.H. Adaptive Capabilities of the Eastern Imperial Eagle in Power Lines Exploration for Nesting Purposes in the Republic of Tatarstan, Russia. – Raptors Conservation. 2015. 31: 130–152.] DOI: 10.19074/1814-8654-2015-31-130-152 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/26107>

Бекмансуров Р.Х., Калякин И.В., Бабушкин М.В., Важов С.В., Левашкин А.П., Пименов В.Н., Пчелинцев В.Г. Результаты работы Центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2015 году. – Пернатые хищники и их охрана. 2016. № 33. С. 24–45. [Bekmansurov R.H., Karyakin I.V., Babushkin M.V., Vazhov S.V., Levashkin A.P., Pimenov V.N., Pchelintsev V.G. Results of work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2015. – Raptors Conservation. 2016. 33: 24–45.] DOI: 10.19074/1814-8654-2016-33-24-45 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/28148>

Бекмансуров Р.Х., Калякин И.В., Бабушкин М.В., Левашкин А.П., Пчелинцев В.Г. Результаты работы Центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2016 году. – Пернатые хищники и их охрана. 2017. № 35. С. 26–50. [Bekmansurov R.H., Karyakin I.V., Babushkin M.V., Levashkin A.P., Pchelintsev V.G. Results of Work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2016. – Raptors Conservation. 2017. 35: 26–50.] DOI: 10.19074/1814-8654-2017-35-26-50 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/30040>

Белоусов Е., Белялов О., Виляев А., Дякин Г., Звягинцева В., Исабеков А., Нукусбеков М., Онгарбаев Н., Федоренко В., Фокина А., Шмыгалев С. Могильник *Aquila heliaca* (Savigny, 1809). [Belousov E., Belyalov O., Vilyev A., Dyakin G., Zvyagintseva V., Isabekov A., Nukusbekov M., Ongarbaev N., Fedorenko V., Fokina A., Shmygalev S. Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca* (Savigny, 1809).] – Kazakhstan birdwatching community. 2021. URL: <https://birds.kz/v2taxgal.php?s=107>

Болотов А., Болотов С. Ветроэнергетика – пути развития. – Энергетика: Вестник Союза инженеров-энергетиков Республики Казахстан. 2019. № 2(69). С. 18–23. [Bolotov A., Bolotov C. Wind power – development paths. – Energy: Bulletin of the Union of Power Engineers of the Republic of Kazakhstan. 2019. No. 2 (69): 18–23. (in Russian).] URL: <http://kazenergy.kz/arhiv/69/mobile/index.html#p=20>

Болотов А.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии: Учебное пособие. Алматы: АУЭС, 2011. 79 с. [Bolotov A.V. Unconventional and Renewable Sources of Electricity: A Study Guide. Almaty, 2011: 1–79. (in Russian).] URL: https://libr.aues.kz/facultet/eef/kaf_epp/43/umm/epp_1.htm

Болотов С.А., Болотов А.В., Ильинцев О.Н., Отарашиеви З.А., Подгорный Е.В., Таранников А.А., Болотов Н.С. Ветроэнергетический агрегат. Патент RU2352810C2, 2007.

14 с. [Bolotov S.A., Bolotov A.V., Il'intsev O.N., Otarashvili Z.A., Podgornyj E.V., Tarannikov L.A., Bolotov N.S. Windmill Generator. Patent RU2352810C2, 2007: 1–14.] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2352810C2/ru>

Болотов А.В., Кешуов С.А., Болотов С.А. Своя электроэнергия в своём хозяйстве. – Международная агронженерия. 2019. № 2. С. 15–22. [Bolotov A.V., Keshuov S.A., Bolotov S.A. Own electricity in own economy. – International Agroengineering. 2019. 2: 15–22. (in Russian).] URL: <http://spcae.kz/uploads/sotrudniki%20kz%D0%9C%D0%90-2....pdf>

Брагин Е.А., Катцнер Т., Брагин А.Е. Численность, возрастная структура, смертность и пространственные связи популяции орла-могильника островных лесов Кустайской области. – Хищные птицы в динамической среде третьего тысячелетия: состояние и перспективы. Труды VI международной конференции по соколообразным и совам Северной Евразии, г. Кривой Рог, Украина, 27–30 сентября 2012 г. Кривой Рог, 2012. С. 131–141. [Bragin E.A., Katzner T., Bragin A.E. Population size, age structure, mortality and spatial relations of the population of the Imperial Eagle at forest patches of Kustanay Region. – Birds of Prey in the Dynamic Environment of the Third Millennium: Status and Prospect. Proceedings of the 6th International Conference on Birds of Prey and Owls of North Eurasia, Kryyyi Rih, 27–30 September 2012. Kryyyi Rih, 2012: 131–141. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2014/05/13bragin.pdf>

Важов С.В., Бахтин Р.Ф., Макаров А.В., Калякин И.В., Митрофанов О.Б. Результаты мониторинга гнездовых группировок крупных пернатых хищников в Республике Алтай в 2010 году, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2010. № 20. С. 54–67. [Vazhov S.V., Bachtin R.F., Makarov A.V., Karyakin I.V., Mitrofanov O.B. Monitoring Results of Raptor Breeding Groups in the Republic of Altai in 2010, Russia. – Raptors Conservation. 2010. 20: 54–67.] URL: <http://rrrcn.ru/rv/archives/19237>

Важов С., Зубань И., Калашников М., Карпов Ф., Паженков А., Пестов М., Томиленко А., Штолль Д. Орёл-могильник (*Aquila heliaca*), степной орёл (*Aquila nipalensis*), большой подорлик (*Aquila clanga*). – Пернатые хищники Мира (Веб-ГИС «Фаунистика»). 2021. [Vazhov S., Zuban I., Kalashnikov M., Karпов F., Pazhenkov A., Pestov M., Tomilenko A., Shtol D. Imperial Eagle (*Aquila heliaca*), Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*), Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*). – Raptors of the World (Web-GIS “Faunistics”). 2021. (in Russian).] URL: <http://raptors.wildlifemonitoring.ru>

Важов С.В., Калякин И.В., Барашкова А.Н., Бахтин Р.Ф., Бекмансурев Р.Х., Николенко Э.Г., Смелянский И.Э. Распространение, численность и статус орлов в Республике Алтай. – Исчезающие, редкие и слабо изученные виды животных и их отражение в Красной книге Республики Алтай прошлых и будущего изданий (критика и предложения): Материалы российского научного мероприятия, конференции по подготовке третьего издания Красной книги Республики Алтай (животные). 23–27 марта 2015 года, Горно-Алтайск, 2015. С. 89–94. [Vazhov S.V., Karyakin I.V., Barashkova A.N., Bachtin R.F., Bekmansurov R.H., Nikolenko E.G., Smelansky I.E. Distribution, abundance and status of eagles in the Republic of Altai. – Disappearing, rare and poorly studied species of animals and their reflection in the Red Data Book of the Republic of Altai of past and future editions (criticism and suggestions): Materials of the Rus-

sian Scientific Conferences on the Preparation of the Third Edition of the Red Data Book of the Republic of Altai (Animals). March 23–27, 2015, Gorno-Altaisk, 2015: 89–94 (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2015/08/Vazhov-et-al-eagles2015.pdf>

Важов С.В., Калякин И.В., Николенко Э.Г., Барашкова А.Н., Смелянский И.Э., Томиленко А.А., Бекмансурев Р.Х. Пернатые хищники плато Укок, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2011. № 22. С. 153–175. [Vazhov S.V., Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Barashkova A.N., Smelansky I.E., Tomilenko A.A., Bekmansurov R.H. Raptors of the Ukok Plateau, Russia. – Raptors Conservation. 2011. 22: 153–175.] URL: <http://rrrcn.ru/rv/archives/12748>

ВЭС Байдибек-1 (210 МВТ). – ТОО Институт «Казсельэнергопроект». 2021. [WPS Baidibek-1 (210 MWt). – “Kazsellenergoprojekt” Institute LLP. 2021. (in Russian).] URL: https://www.kazsep.kz/ru/catalog/ves-baydibek-1-210-mwt_17

Гаврилов А.Э. Перевал Чокпак. – Исследования по ключевым орнитологическим территориям в Казахстане и Средней Азии. / Ред. С.Л. Скляренко. Алматы, 2006. С. 60–63. [Gavrilov A.E. Chokpak Pass. – Research on Important Bird Areas in Kazakhstan and Middle Asia. / S.L. Sklyarenko (Ed.). Almaty, 2006: 60–63. (in Russian).] URL: <https://www.acbk.kz/elfinder/files/library/ornithology/Issledovaniya%20po%20IBA%20Kazakhstan%20i%20Sredney%20Asii.pdf>

Гаврилов Э.И. Мониторинг численности некоторых видов хищных птиц на осеннем пролете в предгорьях Западного Тянь-Шаня. – Selevinia. 1996/1997. С. 134–142. [Gavrilov E.I. Monitoring of number of some species of birds of prey during autumn passage at foothills of Western Tien Shan. – Selevinia. 1996/1997: 134–142. (in Russian).]

Гаврилов Э.И., Гаврилов А.Э. Основные результаты колцевания птиц в Казахстане (195–2012 гг.). – Орнитологический вестник Казахстана и Средней Азии. Выпуск 3. Алматы, 2014. С. 9–25. [Gavrilov E.I., Gavrilov A.E. The main results of bird ringing in Kazakhstan (1951–2012). – Ornithological News of Kazakhstan and Middle Asia. Volume 3. Almaty, 2014: 9–25. (in Russian).] URL: <https://zoomet.ru/zhurnal/Ornit-vestn-Kz-SA-3-2014.pdf>

Гаврилов Э.И., Гистцов А.П. Сезонные перелеты птиц в предгорьях Западного Тянь-Шаня. Алма-Ата, 1985. 224 с. [Gavrilov E.I., Gistsov A.P. Seasonal bird flights in the foothills of the Western Tien Shan. Alma-Ata, 1985: 1–224. (in Russian).]

Гейдаров П.Ш. Алгоритм определения расположения и размеров объектов на основе анализа изображений объектов. – Компьютерная оптика. 2011. Том 35, № 2. С. 275–280. [Geidarov P.S. Algorithm for determining the location and dimensions of objects based on analysis of image objects. – Computer Optics. 2011. 35(2): 275–280 (in Russian).] URL: <http://www.computeroptics.smr.ru/KO/PDF/KO35-2/21.pdf>

Громазин О.А., Филимонов А.В., Погорский Н.В., Шишалов И.С. Способ определения расстояния до объекта при помощи камеры (варианты). Патент RU 2602729. Владелец патента: ООО «ДиСиКон». – Google Patents. 2014. [Gromazin O.A., Filimonov A.V., Pogorsky N.V., Shishalov I.S. Method of distance to object determining by means of camera (versions). Patent RU 2602729. The owner of the patent: DiCiCon LLC. – Google Patents. 2014.] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2602729C2/ru>

Губин Б.М. Птицы пустынь Казахстана. Кн. 2. Алматы: ТОО «SprintR», 2018. 289 с. [Gubin B.M. Birds of the deserts

of Kazakhstan. Vol. 2. Almaty, 2018: 1–289. (in Russian).] URL: http://ashipunov.info/shipunov/school/books/gubin2018_ptitsy_pustynj_kz_2_3.pdf

Закон Республики Казахстан от 4 июля 2009 года №165-IV «О поддержке использования возобновляемых источников энергии». [Law of the Republic of Kazakhstan dated July 4, 2009 No. 165-IV "On Supporting the Use of Renewable Energy Sources". (in Russian).] URL: http://www.kazpravda.kz/_pdf/july09/160709law.pdf

Зиневич Л.С., Рожкова Д.Н., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Калякин И.В. Определение пола и другие рутинные ПЦР-анализы в исследованиях хищных птиц. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвып. 1. С. 208–210. [*Zinevich L.S., Rozhkova D.N., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Karyakin I.V.* Molecular Sexing and Other PCR Routines in Raptors Research. – *Raptors Conservation*. 2018. Suppl. 1: 208–210.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32734>

Зубань И.А., Вилков В.С. Орёл могильник *Aquila heliaca* в Жамбылском районе Северо-Казахстанской области. – Русский орнитологический журнал. 2013. Т. 22, Экспресс-выпуск 851. С. 521–526. [*Zuban I.A., Vilkov V.S.* Imperial Eagle *Aquila heliaca* in Zhambyl district of the North Kazakhstan region. – *The Russian Journal of Ornithology*. 2013. 22(851): 521–526. (in Russian).] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oryol-mogilnik-aquila-heliaca-v-zhambylskom-rayone-severo-kazahstanskoy-oblasti>

Ибраев А.Х., Муслимов К.Б. Автоматизация ветроэнергетического комплекса на основе роторной турбины Болотова (ВРТБ). – Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2017. Т. 1, № 365. С. 230–234. [*Ibraev A.Kh., Muslimov K.B.* Automation wind power complex on the basis of rotor turbine Bolotov (WRTB). – *Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2017. 1(365): 230–234. (in Russian).] URL: <http://www.bulletin-science.kz/images/pdf/v2017/230234.pdf>

Ильюх М.П., Шевцов А.С. Роль ЛЭП в расселении хищных птиц и сов Ставропольского края и сопредельных территорий. – Хищные птицы в ландшафтах Северной Евразии: Современные вызовы и тренды: Материалы VIII Международной конференции РГХП, посвященной памяти А.И. Шепеля, Воронежский заповедник, 21–27 сентября 2020 г. / Отв.ред. В.П. Белик, П.Д. Венгеров. Тамбов, 2020. 63–70. [*Ilyukh M.P., Shevtsov A.S.* Role of power lines in distribution of birds of prey and owls in Stavropol Territory and adjacent areas. – Birds of prey in landscapes of the Northern Eurasia: Current challenges and trends: Proceedings of the VIII International Conference, Voronezh Nature Biosphere Reserve, 21–27 September, 2020. Tambov, 2020: 63–70. (in Russian).] URL: http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/reports/voronezh-2020/materials/Ilyukh_etal_2020.pdf

ИТАР-ТАСС. Уникальная электростанция с «виндроторами Болотова». – Энергетика и промышленность России. 2010. № 13–14 (153–154). [*ITAR-TASS. Unique power plant with "Windrotors Bolotov".* – *Energy and industry in Russia*. 2010. 13–14 (153–154). (in Russian).] URL: <https://www.eprussia.ru/epr/153/11829.htm>

Карта объектов ВИЭ. – Расчетно-финансовый центр поддержки ВИЭ. 2019. [Renewable energy facilities map. – Financial Settlement Center of Renewable Energy. 2019.] URL: <https://rfc.kegoc.kz/vie/yamaps>

Карякин И.В. Пернатые хищники (методические рекомендации по изучению соколообразных и совообразных). Нижний Новгород: Издательство «Поволжье»,

2004. 351 с. [*Karyakin I.V. Raptors* (manuals on surveys of birds of prey and owls). Nizhniy Novgorod: Publishing House "Povelzhie", 2004: 1–351. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/11151>

Карякин И.В. Караканский бор. – Ключевые орнитологические территории России. Т.2. Ключевые орнитологические территории международного значения в Западной Сибири. Под ред.: С.А. Букреев. М.: Союз охраны птиц России. 2006 а. С. 196. [*Karyakin I.V. Karakansky pine forest*. – *Important Bird Areas of Russia. Vol. 2. Important Bird Areas of International Importance in the Western Siberia* / S.A. Bukreev (Ed.). Moscow: RBCU, 2006 а: 196. (in Russian).] URL (electronic resource): <http://www.rbcu.ru/kotr-siberia/ns008.php>

Карякин И.В. Экспансия могильника на ЛЭП в Западном Казахстане. – Пернатые хищники и их охрана. 2006 б. № 7. С. 62–64. [*Karyakin I.V. Expansion of the Imperial Eagle onto power lines in Western Kazakhstan*. – *Raptors Conservation*. 2006 б. 7: 62–64.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31712>

Карякин И.В. Большой подорлик в Поволжье, на Урале и в Западной Сибири. – Пернатые хищники и их охрана. 2008 а. № 11. С. 23–69. [*Karyakin I.V. The Greater Spotted Eagle in the Volga Region, Ural Mountains and Western Siberia*. – *Raptors Conservation*. 2008 а. 11: 23–69.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/25020>

Карякин И.В. Большой подорлик в Алтае-Саянском регионе. – Изучение и охрана большого и малого подорликов в Северной Евразии: Материалы к V международной конференции по хищным птицам Северной Евразии, Иваново, 4–7 февраля 2008 г. / Ред. В.Н. Мельников, В.Ч. Домбровский, А.Л. Мишенко. Иваново: Ивановский государственный университет, 2008 б. С. 165–184. [*Karyakin I.V. The Greater Spotted Eagle in Altai-Sayan Region*. – *Research and Conservation of the Greater Spotted Eagle and Lesser Spotted Eagle in Northern Eurasia: Proceedings of the V International Conference on Raptors of Northern Eurasia, Ivanovo, 4–7 February 2008* / Eds. V.N. Melnikov, V.Ch. Dombrovskiy, A.L. Mischenko. Ivanovo, 2008 б: 165–184. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/11198>

Карякин И.В. Проблема «Птицы и ЛЭП»: есть и положительный аспект. – Пернатые хищники и их охрана. 2008 с. № 12. С. 11–27. [*Karyakin I.V. Problem «Birds and Power Lines»: Some Positive Effects Exist*. – *Raptors Conservation*. 2008 с. 12: 11–27.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/24950>

Карякин И.В. Пернатые хищники в электросетевой среде Северной Евразии: каковы перспективы выживания? – Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 69–85. [*Karyakin I.V. Birds of Prey and Power Lines in Northern Eurasia: What are the Prospects for Survival?*. – *Raptors Conservation*. 2012. 24: 69–85.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/12320>

Карякин И.В. Статус степного орла в Мире: «белые пятна» в распространении, численности, экологии и угрозах. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвып. 1. С. 81–84. [*Karyakin I.V. Status of the Steppe Eagle in the World: "White Spots" in Distribution, Population Numbers, Ecology and Threats*. – *Raptors Conservation*. 2018. Suppl. 1: 81–84.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32535>

Карякин И.В. Популяционная структура гнездового ареала орла-могильника. – Пернатые хищники и их охрана. 2020. № 41. С. 64–332. [*Karyakin I.V. Breeding Population Structure of the Eastern Imperial Eagle*. – *Raptors Conservation*. 2020. 41: 64–332.] DOI: 10.19074/1814-8654-2020-41-64-332 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33851>

Карякин И.В., Бабушкин М.В., Бартушук К., Хорват М., Селлис У., Сейн Г. Новое «узкое место» на осенном миграционном маршруте хищных птиц через Каракорум. – Пернатые хищники и их охрана. 2019 а. № 39. С. 292–296. [Karyakin I.V., Babushkin M.V., Bartoszuk K., Horvath M., Sellis U., Sein G. The New Bottleneck on Birds of Prey Autumn Migration Route through the Karakorum. – Raptors Conservation. 2019 a. 39: 292–296.] DOI: 10.19074/1814-8654-2019-39-292–296. URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33258>

Карякин И.В., Бакка С.В., Грабовский М.А., Мошкин А.В., Рыбенко А.В., Смелянский И.Э. Результаты обследования потенциальных КОТР в Сибири в 2004 году. – Инвентаризация, мониторинг и охрана ключевых орнитологических территорий России. Вып. 5. М., 2005 а. С. 67–71. [Karyakin I.V., Bakka S.V., Grabovsky M.A., Moshkin A.V., Rybenko A.V., Smelyanskiy I.E. Results of a survey of potential IBAs in Siberia in 2004. – Inventory, monitoring and protection of Important Bird Areas of Russia. Vol. 5. Moscow, 2005 a: 67–71. (in Russian).]

Карякин И.В., Бекмансуров Р.Х., Бабушкин М.В., Важов С.В., Бахтин Р.Ф., Николенко Э.Г., Шнейдер Е.П., Пименов В.Н. Результаты работы Центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2014 году. – Пернатые хищники и их охрана. 2015. № 30. С. 31–61. [Karyakin I.V., Bekmansurov R.H., Babushkin M.V., Vazhov S.V., Bachtin R.F., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Pimenov V.N. Results of work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2014. – Raptors Conservation. 2015. 30: 31–61.] DOI: 10.19074/1814-8654-2015-30-31-61 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/25960>

Карякин И.В., Забелин В.И. Большой подорлик *Aquila clanga* Pallas, 1811. – Красная книга Республики Тыва (животные, растения и грибы). 2-е изд., перераб. / отв. ред. С.О. Ондар, Д.Н. Шауло. Кызыл, 2018. С. 78–79. [Karyakin I.V., Zabelin V.I. Greater Spotted Eagle *Aquila clanga* Pallas, 1811. – Red Data Book of the Tuva Republic (animals, plants and mushrooms). 2nd ed. / S.O. Ondar, D.N. Shaulo (Eds.). Kyzyl, 2018: 78–79. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2018/12/KKTuva2018-raptors.pdf>

Карякин И.В., Зиневич Л.С., Шепетов Д.М., Сорокина С.Ю. Популяционная структура ареала степного орла и предварительные данные по генетическому разнообразию его популяций и статусу подвидов. – Пернатые хищники и их охрана. 2016 а. № 32. С. 67–88. [Karyakin I.V., Zinevich L.S., Schepetov D.M., Sorokina S.Yu. Population Structure of the Steppe Eagle Range and Preliminary Data on the Population Genetic Diversity and Status of Subspecies. – Raptors Conservation. 2016 a. 32: 67–88.] DOI: 10.19074/1814-8654-2016-32-67-88 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/26941>

Карякин И.В., Коваленко А.В., Барашкова А.Н. Мониторинг гнездовых группировок степного орла в трансграничной зоне России и Казахстана в 2012 году. – Пернатые хищники и их охрана. 2013. № 26. С. 61–83. [Karyakin I.V., Kovalenko A.V., Barashkova A.N. Monitoring of the Steppe Eagle Populations in the Trans-Border Zone of Russia and Kazakhstan in 2012. – Raptors Conservation. 2013. 26: 61–83.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/19591>

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. URL:

<http://rrrcn.ru/ru/archives/29623> [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/en/archives/29623>]

Карякин И.В., Лапшин Р.Д., Шестакова А.А. ArcView GIS для экологов. Инструктивно-методическое пособие. Н. Новгород, 2009 а. 543 с. [Karyakin I.V., Lapshin R.D., Shestakova A.A. ArcView GIS for ecologists. Инструктивно-методическое пособие. Guide. Nizhny Novgorod, 2009 a: 1–543. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/arcview-gis-dlya-ekologov>

Карякин И.В., Левин А.С. Большой подорлик в Казахстане. – Изучение и охрана большого и малого подорликов в Северной Евразии: Материалы к V международной конференции по хищным птицам Северной Евразии, Иваново, 4–7 февраля 2008 г. / Ред. В.Н. Мельников, В.Ч. Домбровский, А.Л. Мищенко. Иваново: Ивановский государственный университет, 2008. С. 138–152. [Karyakin I.V., Levin A.S. The Greater Spotted Eagle in Kazakhstan. – Research and Conservation of the Greater Spotted Eagle and Lesser Spotted Eagle in Northern Eurasia: Proceedings of the V International Conference on Raptors of Northern Eurasia, Ivanovo, 4–7 February 2008 / V.N. Melnikov, V.Ch. Dombrovskiy, A.L. Mischenko (Eds.). Ivanovo, 2008: 138–152. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/11198>

Карякин И.В., Левин А.С., Барабашин Т.О., Карпов Ф.Ф. Результаты исследований 2005 г. в степных борах на северо-востоке Казахстана. – Пернатые хищники и их охрана. 2005 б. № 4. С. 34–43. [Karyakin I.V., Levin A.S., Barabashin T.O., Karpov F.F. Results of Researches of Steppe Pine Forests in the Northeast of Kazakhstan in 2005 a. – Raptors Conservation. 2005 b. 4: 34–43.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31543>

Карякин И.В., Николенко Э.Г. Могильник в Хакасии и Красноярском крае, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2010. № 20. С. 158–176. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G. The Imperial Eagle in the Republic of Khakassia and Krasnoyarsk Kray, Russia. – Raptors Conservation. 2010. 20: 158–176.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/19266>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Бакка С.В. Параметры особо защитных участков леса для хищных птиц – какими они должны быть, чтобы обеспечить сохранение гнездовых участков? – Пернатые хищники и их охрана. 2017 а. № 35. С. 74–175. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Bakka S.V. Size of Specially Protected Forest Sites for Raptors: What Size of These Sites Should be for Protect the Raptor's Breeding Territories? – Raptors Conservation. 2017 a. 35: 74–175.] DOI: 10.19074/1814-8654-2017-35-74-175 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/30073>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Важов С.В., Бекмансуров Р.Х. Могильник в горах Алтая: результаты 2009 года, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2009 б. № 16. С. 129–138. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Vazhov S.V., Bekmansurov R.H. Imperial Eagle in the Altai Mountains: Results of the Research in 2009, Russia. – Raptors Conservation. 2009 b. 16: 129–138.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/19506>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Забелин В.И. Степной орёл *Aquila nipalensis* Hodgson, 1833. – Красная книга Республики Тыва (животные, растения и грибы). 2-е изд., перераб. / отв. ред. С.О. Ондар, Д.Н. Шауло. Кызыл, 2018 а С. 77–78. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Zabelin V.I. Steppe Eagle *Aquila*

nipalensis Hodgson, 1833. – Red Data Book of the Tuva Republic (animals, plants and mushrooms). 2nd ed. / S.O. Ondar, D.N. Shaulo (Eds.). Kyzyl, 2018 a: 77–78. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2018/12/KKTuva2018-raptors.pdf>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Зиневич Л.С., Пуликова Г.И. Степной орёл в Карагандинской области. – Пернатые хищники и их охрана. 2017 б. № 35. С. 219–251. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Zinevich L.S., Pulikova G.I. Steppe Eagle in the Karaganda Region, Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2017 б. 35: 219–251.] DOI: 10.19074/1814-8654-2017-35-219-251 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/30112>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П. Распространение, численность и успех размножения степного орла в Алтае-Саянском регионе. – Пернатые хищники и их охрана. 2018 б. Спецвып. 1. С. 86–88. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P. Distribution, Population Number and Breeding Success of the Steppe Eagle in the Altai-Sayan Region. – Raptors Conservation. 2018 б. Suppl. 1: 86–88.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32541>

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 б. № 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 б. 38: 68–82.] DOI: 10.19074/1814-8654-2019-38-68-82 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31994>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Бабушкин М.В., Бекмансуроев Р.Х., Китель Д.А., Пименов В.Н., Пчелинцев В.Г., Хлопотова А.В., Шершнев М.Ю. Результаты работы Центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2017 году. – Пернатые хищники и их охрана. 2018 с. № 37. С. 15–48. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Babushkin M.V., Bekmansurov R.H., Kitel D.A., Pimenov V.N., Pchelinsev V.G., Khlopotova A.V., Shershnev M.Yu. Results of Work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2017. – Raptors Conservation. 2018 с. 37: 15–48.] DOI: 10.19074/1814-8654-2018-37-15-48. URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31198>

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Бабушкин М.В., Бекмансуроев Р.Х., Корепов М.В., Зиневич Л.С., Паженков А.С., Бартошук К.П., Проммер М., Пуликова Г.И., Сейн Г., Селлис У., Хорват М., Юхаш Т. Телеметрия хищных птиц как прогрессивный метод для их исследования и охраны, а также для экообразования населения. – Экологическое образование для устойчивого развития: теория и педагогическая реальность: сборник статей по материалам XV Международной научно-практической конференции. Н. Новгород: Мининский университет, 2019 д. С. 336–344. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Babushkin M.V., Bekmansurov R.H., Korepov M.V., Zinevich L.S., Pazhenkov A.S., Bartoszuk K.P., Prommer M., Pulikova G.I., Sein G., Sellis U., Horváth M., Juhász T. Telemetry – a Modern Method for Raptors Conservation, Research, and Public Ecological Education. – Proceeding of the 15th International Conference “Ecological Education for Sustainable Development: Theory and Pedagogical Reality”. Nizhny Novgorod: Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, 2019 д: 336–344. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/>

wp-content/uploads/2019/12/Karyakin-etal2019-telemetry.pdf

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

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Хорват М., Проммер М., Юхаш Т., Бартошук К., Зиневич Л.С. Направление, характер и сроки миграции степных орлов из Волго-Уральского и Алтае-Саянского регионов (Россия) по данным GSM/GPS и Argos/GPS-телеметрии. – Пернатые хищники и их охрана. 2018 д. Спецвып. 1. С. 96–99. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Horváth M., Prommer M., Juhász T., Zinevich L.S. Direction, Nature and Timing of Migration of the Steppe Eagles from the Volga-Ural and Altai-Sayan Regions (Russia) on Data of the GSM/GPS and Argos/GPS-telemetry. – Raptors Conservation. 2018 д. Suppl. 1: 96–99.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32553>

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 е. 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 е. Suppl. 1: 140–143.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32636>

Карякин И.В., Новикова Л.М. Степной орёл и инфраструктура АЭП в Западном Казахстане. Есть ли перспектива сосуществования? – Пернатые хищники и их охрана. 2006. № 6. С. 48–57. [Karyakin I.V., Novikova L.M. The Steppe Eagle and power lines in Western Kazakhstan. Is coexistence have any chance? – Raptors Conservation. 2006. 6: 48–57.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31679>

Карякин И.В., Пуликова Г.И., Зиневич Л.С. Результаты мониторинга гнездовых группировок степного орла в Карагандинской области, Казахстан. – Пернатые хищники и их охрана. 2019 ф. № 38. С. 214–229. [Karyakin I.V., Pulikova G.I., Zinevich L.S. The Results of Monitoring the Breeding Groups of the Steppe Eagle in the Karaganda Region, Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2019 ф. 38: 214–229.] DOI: 10.19074/1814-8654-2019-38-214-229 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32028>

Карякин И.В., Смелянский И.Э., Бакка С.В., Грабовский М.А., Рыбенко А.В., Егорова А.В. Крупные пернатые хищники Алтайского края. – Пернатые хищники и их охрана. 2005 с. № 3. С. 28–51. [Karyakin I.V., Smelansky I.E., Bakka S.V., Grabovsky M.A., Rybenko A.V., Egorova A.V. The Raptors in the Altai Kray. – Raptors Conservation. 2005 с. 3: 28–51.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31422>

Карякин И.В., Хорват М., Проммер М., Николенко Э.Г., Юхаш Т., Шнайдер Е.П. Направление, характер и сроки

миграции орлов-могильников из Российского Алтая по данным GSM/GPS и ARGOS/GPS-телеметрии. – Хищные птицы Северной Евразии. Проблемы и адаптации в современных условиях: материалы VII Международной конференции РГСС, г. Сочи, 19–24 сентября 2016 г. / Ред. В.П. Белик. Ростов-на-Дону: изд. Южного федерального университета, 2016 с. С. 259–264. [Karyakin I.V., Horváth M., Prommer M., Nikolenko E.G., Juhász T., Shnayder E.P. Direction, patterns and timing of migration of the Imperial Eagles from the Russian Altai according to data of the GSM/GPS and Argos/GPS-telemetry. – Birds of Prey in the Northern Eurasia: Problems and adaptations in current environment: Proceedings of the VII International Conference on Birds of Prey and Owls of Northern Eurasia, Sochi, 19–24 September 2016 / V.P. Belik (Ed.). Rostov-on-Don, 2016 с: 259–264. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/reports/sochi2016/Karyakin-et al2016.pdf>

Кашнер Т., Миллер Т.А., Дуэрр А.Е., Брахам М.А., Ланzonе М., Брандс Д., Купер Д. Полётное поведение орлов и риска, связанный с ветро-энергетикой. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвып. 1. С. 179–180. [Katzner T., Miller T.A., Duerr A.E., Braham M.A., Lanzzone M., Brandes D., Cooper J. Eagle Flight Behavior and Risk from Wind Energy. – Raptors Conservation. 2018. Suppl. 1: 179–180.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32687>

Корепов М.В., Бородин О.В. Солнечный орёл (*Aquila heliaca*) – природный символ Ульяновской области. Ульяновск; 2013. 120 с. [Korepov M.V., Borodin O.V. Imperial Eagle (*Aquila heliaca*) is the natural symbol of Ulyanovsk region. Ulyanovsk; 2013: 1–120. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/20915>

Корепов М.В., Стрюков С.А. Толерантность к человеку – важнейший фактор адаптации орла-могильника к современным условиям хозяйствования в лесостепи Среднего Поволжья. – XIV Международная орнитологическая конференция Северной Евразии. I. Тезисы / отв. ред. А.Ф. Kovшарь. Алматы, 2015. С. 255–256. [Korepov M.V., Stryukov S.A. Tolerance to the man – the most important factor of daptation of Imperial Eagle to current economic conditions in the forest in Middle Volga region. – XIV International Ornithological Conference of Northern Eurasia. I. Abstracts / A.F. Kovshar (Ed.). Almaty, 2015: 255–256. (in Russian).] URL: https://zmmu.msu.ru/menzbir/publ/Abstracts_Almaty_2015.pdf

Левин А.С., Куркин Г.А. Масштабы гибели орлов на линиях электропередачи в Западном Казахстане. – Пернатые хищники и их охрана. 2013. № 27. С. 240–244. [Levin A.S., Kurkin G.A. The Scope of Death of Eagles on Power Lines in Western Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2013. 27: 240–244.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/21230>

Мацына А.И., Мацьна Е.Л., Корольков М.А., Бадмаев В.Э., Бадмаев В.Б. Оценка масштабов ежегодной гибели птиц в результате поражения электрическим током на воздушных линиях электропередачи 6–10 кВ в Калмыкии, Россия. – Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 186–201. [Matsyna A.I., Matsyna E.L., Korolkov M.A., Badmaev V.E., Badmaev V.B. Estimation of Sizes of the Annual Rate of Bird Mortality Caused by Electrocution on Power Lines 6–10 kV in Kalmykia, Russia. – Raptors Conservation. 2012. 24: 186–201.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/12386>

Меджидов Р.А., Музав В.М., Бадмаев В.Б. О состоянии популяции степного орла в Калмыкии. – Степной бюллетень. 2011. № 32. С. 33–37. [Medzhidov R.A., Muzaev V.M., Badmaev V.B. On the state of the Steppe Eagle population in

Kalmykia. – Steppe Bulletin. 2011. 32: 33–37. (in Russian).] URL: <http://savesteppe.org/ru/archives/6215>

Миллер Т.А., Брукс Р.Р., Ланзоне М.Д., Брандс Д., Купер Д., Катцнер Т.Е. Определение рисков для птиц от индустриального развития ветряной энергетики с помощью парных моделей выбора ресурсов. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвып. 1. С. 182–183. [Miller T.A., Brooks R.P., Lanzzone M.J., Brandes D., Cooper J., Katzner T.E. Assessing Risk to Birds from Industrial Wind Energy Development via Paired Resource Selection Models. – Raptors Conservation. 2018. Suppl. 1: 182–183.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32698>

Николенко Э.Г., Калякин И.В. Птицы и ЛЭП в Алтае-Саянском регионе: масштаб проблемы и пути решения. – Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 88–97. [Nikolenko E.G., Karyakin I.V. Birds and Power Lines in the Altai-Sayan Region: The Scale of the Problem and Ways to Address it. – Raptors Conservation. 2012. 24: 88–97.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/12326>

Николенко Э.Г., Калякин И.В. Распространение, численность и статус орлов в Республике Тыва. – Современное состояние редких видов растений и животных Республики Тыва: материалы Всероссийской научно-практической конференции (28–29 апреля 2016 года) / отв. ред. У.В. Ондар. Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2016. С. 92–99. [Nikolenko E.G., Karyakin I.V. Distribution, numbers, and status of eagles in Republic of Tyva. – Current status of rare species of plants and animals of Republic Tyva: Materials of All-Russian scientific-practical conference (April 28–29, 2016) / U.V. Ondar (Ed.). Kyzyl, 2016: 92–99. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2016/09/Nikolenko-Karyakin-Eagles2016.pdf>

Николенко Э.Г., Калякин И.В., Шнайдер Е.П., Бабушкин М.В., Бекмансуров Р.Х., Зиневич Л.С., Китель Д.А., Пуликова Г.И., Пчелинцев В.Г., Хлопотова А.В., Шершнев М.Ю. Результаты работы центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2018 году. – Пернатые хищники и их охрана. 2019. № 39. С. 8–33. [Nikolenko E.G., Karyakin I.V., Shnayder E.P., Babushkin M.V., Bekmansurov R.H., Zinevich L.S., Kitel D.A., Pulikova G.I., Pchelinsev V.G., Khlopotova A.V., Shershnev M.Yu. Results of Work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2018. – Raptors Conservation. 2019. 39: 8–33.] DOI: 10.19074/1814-8654-2019-39-8-33 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33103>

Орлов А. Перспективы использования ветроэнергетики в Казахстане. – Материалы Республиканской конференции «Сейфуллинские чтения – 8», посвященной 55-летию университета. Т.1 (преподаватели и магистранты). 2012. С. 16–17. [Orlov A. Prospects for the use of wind energy in Kazakhstan. - Materials of the Republican conference "Seifullin readings – 8" dedicated to the 55th anniversary of the university. Vol. 1 (teachers and undergraduates). 2012: 16–17. (in Russian).] URL: https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf8_arch_116.pdf

Пуликова Г.И., Воронова В.В. Гибель орлов на воздушных линиях электропередачи в Казахстане: обзор актуального состояния проблемы. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвып. 1. С. 189–191. [Pulikova G.I., Voronova V.V. Death of Eagles on Overhead Power-lines in Kazakhstan: Review of the Actual State of the Issue. – Raptors Conservation. 2018. Suppl. 1: 182–183.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32711>

Пуликова Г.И., Каптёнкина А.Г., Тугарев С.Ю. Степной орёл в Восточно-Казахстанской области. – Пернатые хищники и их охрана. 2021. № 42. С. 34–54. [Pulikova G.I., Ka-

- ptyonkina A.G., Tugarev S.Y. Steppe Eagle in the East Kazakhstan Region. – *Raptors Conservation*. 2021. 42: 34–54.] DOI: 10.19074/1814-8654-2021-42-34-54 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33945>
- Рудовский В.С. О гнездовании большого подорлика в Западном Саяне и в прилежащих межгорных котловинах, Россия. – *Пернатые хищники и их охрана*. 2010. № 20. С. 208–211. [Rudovskiy V.S. About the Greater Spotted Eagle Nesting in the Western Sayan Mountains and Adjacent Depressions, Russia. 2010. 20: 208–211.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/19280>
- Сараев Ф.А., Пестов М.В., Онгарбаев Н.Х., Нурмухамбетов Ж.Э., Мухашов А.Т., Ухов С.В. Результаты учетов гибели птиц на воздушных линиях электропередач в Западном Казахстане (Атырауская и Мангистауская области). – Труды Аксу-Жабаглинского государственного природного заповедника. Выпуск 12: Сборник докладов Международной конференции «Фонд Руффорда и сохранение биоразнообразия Центральной Азии» / Ред. кол.: Г. Шакула, Д. Шакула, С. Баскакова. Шымкент, 2019. С. 129–136. [Saraev F.A., Pestov M.V., Ongarbayev N.Kh., Nurmukhambetov Zh.E., Mukhashov A.T., Ukhov S.V. The Results of the Assessment of Birds Mortality Caused by Electricity Power Lines in Western Kazakhstan (Atyrau and Mangistau Provinces). – AKSU-ZHABAGLY NATURE RESERVE PROCEEDINGS. Issue 12: The International Conference «The Rufford Foundation for Biodiversity Research and Conservation in Central Asia» / G. Shakula, D. Shakula, S. Baskakova (Eds.). Shymkent, 2019: 129–136. (in Russian).] URL: <https://s2.siteapi.org/e952239c2a274cb/docs/grlkd3pg9ao84o8g004cssowokwco4>
- Свод правил Республики Казахстан СП РК 4.04–112–2014 «Проектирование ветряных электростанций». Астана: Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2015. 41 с. [Code of Rules of the Republic of Kazakhstan CR RK 4.04–112–2014 “Planning of Wind Power-Stations”. Astana: Committee for Construction, Housing and Communal Services and Land Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, 2015: 1–41. (in Russian and Kazakh).] URL: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=32727418
- Скляренко С.Л. Арыстанды. – Исследования по ключевым орнитологическим территориям в Казахстане и Средней Азии. / Ред. С.Л. Скляренко. Алматы, 2006. С. 126–129. [Sklyarenko S.L. Arystandy. – Research on Important Bird Areas in Kazakhstan and Middle Asia. / S.L. Sklyarenko (Ed.). Almaty, 2006: 126–129. (in Russian).] URL: <https://www.acbk.kz/elfinder/files/library/ornithology/Issledovaniya%20po%20IBA%20Kazakhstana%20i%20Sredney%20Asii.pdf>
- Скляренко С.Л., Катцнер Т. Состояние популяций хищных птиц-падальщиков в Казахстане. – Орнитологический вестник Казахстана и Средней Азии. Вып. 1. Алматы: МОО-СОПК-АСБК, 2012. С. 178–185. [Sklyarenko S.L., Katzner T. The status of populations of vultures in Kazakhstan. – Ornithological News of Kazakhstan and Middle Asia. Vol. 1. Almaty, 2012: 178–185. (in Russian).] URL: https://zmmu.msu.ru/menzbir/publ/sbornik_Korelov.pdf
- Скляренко С.Л., Уэлш Д.Р., Бромбахер М. (Ред.). Ключевые орнитологические территории Казахстана. Алматы: Ассоциация сохранения биоразнообразия Казахстана, 2008. 318 с. (Русская версия). [Sklyarenko S.L., Welch G.R., Brombacher M. (Eds.). Important Bird Areas in Kazakhstan – priority sites for Almaty, Kazakhstan: Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan (ACBK), 2008: 1–312. (English version).]
- Смелянский И.Э., Барашкова А.Н., Калякин И.В. О состоянии гнездовой группировки степного орла в западных предгорьях Алтая (результаты мониторинга в Алтайском крае). – *Пернатые хищники и их охрана*. 2018. Спецвып. 1. С. 85. [Smelansky I.E., Barashkova A.N., Karyakin I.V. On the State of the Steppe Eagle Nesting Population in the Western Foothills of Altai (Results of the Monitoring Work in Altai Krai, Russia). – *Raptors Conservation*. 2018. Suppl. 1: 85.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32537>
- Тредован Э., Уэбб А., Карлей Э., Саба Т. Ветровой мониторинг ПРООН: Анализ ветровых ресурсов и оценка выработки энергии. РВ Power, 2008. 104 с. [Tredovan E., Webb A., Carley E., Saba T. UNDP wind monitoring: Wind Resource Analysis and Energy Generation Assessment. РВ Power, 2008: 1–104. (in Russian).] URL: [https://rfc.kegoc.kz/media/resource/2/156323-REP-003%20RUS%20\(1%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C\)-1.doc](https://rfc.kegoc.kz/media/resource/2/156323-REP-003%20RUS%20(1%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C)-1.doc)
- Трофимов Г.Г. Анализ развития и распространения передовых технологий в области энергоэффективности и возобновляемой энергетики в Казахстане. Алматы, 2012. 49 с. [Trofimov G.G. Analysis of the development and dissemination of advanced technologies in the field of energy efficiency and renewable energy in Kazakhstan. Almaty, 2012: 1–49. (in Russian).] URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee21/projects/Study_KZ.pdf
- Упушев Е.М., Болатбек Б.Б. Развитие возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан в XXI веке. – ҚазЭУ хабаршысы – Вестник КазЭУ. 2012. Т. 89, № 5. С. 38–44. [Upushhev E.M., Bolatbek B.B. Development of renewableenergy sourcesin the Republic of Kazakhstan in thexxicentury. – KazEU Khabarshys/Vestnik KazEU. 2012. 5(89): 38–44. (in Russian).] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45984903>
- Школьник В.С., Болотов А.В., Болотов С.А. К вопросу о развитии альтернативной энергетики на примере Казахстана и России. – The Eurasian. 2019. № 28–29: 141–145. [Shkolnik V.S., Bolotov A.V., Bolotov S.A. On the development of alternative energy based on the example of Kazakhstan and Russia. – The Eurasian. 2019. 28–29: 146–149.] URL: <https://www.windrotor-bolotov.com/publicity.html>
- Шкрадюк И.Э. Как снизить смертность птиц от объектов электроэнергетики? – *Пернатые хищники и их охрана*. 2018. Спецвып. 1. С. 176–178. [Shkradyu I.E. How to Reduce the Mortality of Birds from Electric Facilities? – *Raptors Conservation*. 2018. Suppl. 1: 176–178.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/32686>
- Adams E., Goodale W., Burns S., Dorr Ch., Duron M., Gilbert A., Moratz R., Robinson M. Stereo-Optic High Definition Imaging: A New Technology to Understand Bird and Bat Avoidance of Wind Turbines. USA: Biodiversity Research Institute, 2017: 1–79. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1423631>
- Adefarati T., Bansal R.C. Energizing Renewable Energy Systems and Distribution Generation. – Pathways to a Smarter Power System / A. Taşçikaraoglu, O. Erdinç (Eds.). Academic Press, 2019: 29–65. DOI: 10.1016/B978-0-08-102592-5.00002-8
- Agostini N., Panuccio M., Massa B. Flight behaviour of Honey Buzzards (*Pernis apivorus*) during spring migration over the sea. – Buteo. 2005. 14: 3–9. URL: <https://www.researchgate.net/publication/233756085>
- AINLEY D.G., PORZIG E., ZAJANC D., SPEAR L.B. Seabird flight behavior and height in response to altered wind strength and

- direction. – *Marine Ornithology*. 2015. 43: 25–36. URL: https://sora.unm.edu/sites/default/files/MO_43_1_25-36.pdf
- Albertani R., Johnston M.L., Clocker K., Hu C., Huso M., Katzner T., Maurer W., Todorovic S., Vang J.* A Heterogeneous System for Eagle Detection, Deterrent, and Wildlife Collision Detection for Wind Turbines (Final Technical Report). Oregon State University, 2021: 1–38. DOI: 10.2172/1776624. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1776624>
- Alerstam T., Lindström A.* Optimal bird migration: the relative importance of time, energy, and safety. – *Bird migration: physiology and ecophysiology / Gwinner E. (Ed.)*. Springer, Berlin, 1990: 331–351. DOI: 10.1007/978-3-642-74542-3_22 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-74542-3_22
- Alon D., Granit B., Shamoun-Baranes J., Leshem Y., Kirwan G.M., Shirihai H.* Soaring bird migration over northern Israel in autumn. – *British Birds*. 2004. 97: 160–182. URL: https://britishbirds.co.uk/wp-content/uploads/article_files/V97/V97_N04/V97_N04_P160_182_A001.pdf
- Andrews J., Beaman M., Fisher P., Hereward T., Heubeck M., Morton M., Porter R., Round P.* A new raptor migration route through N.E. Turkey. – *Bulletin of the Ornithological Society of Turkey*. 1977. 14: 2–5.
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee).* Mitigating bird collisions with power lines: the state of the art in 1994. Washington, DC USA: Edison Electric Institute, 1994: 1–128. URL: [http://www.battle-creek.net/docs/lassenlodge/FERC_Docs/20160624-5161\(31538316\).pdf](http://www.battle-creek.net/docs/lassenlodge/FERC_Docs/20160624-5161(31538316).pdf)
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee).* Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012. Washington, DC USA: Edison Electric Institute and APLIC, 2012: 1–184. URL: https://www.aplic.org/uploads/files/15518/Reducing_Avian_Collisions_2012watermarkLR.pdf
- ArcView GIS 3.3. Руководство пользователя. Москва: Data+, 1999. 380 с. [ArcView GIS 3.3. User guide. Moscow, 1999: 1–380. (in Russian).]
- ArcView Spatial Analyst. Руководство пользователя. Москва: Data+, 1999. 146 с. [ArcView Spatial Analyst. User guide. Moscow, 1999: 1–146. (in Russian).]
- Arnett E.B., Baerwald E.F.* Impacts of wind energy development on bats: implications for conservation. – *Bat Evolution, Ecology, and Conservation / R.A. Adams, S.C. Pedersen (Eds.)*. New York: Springer, 2013: 435–456. DOI: 10.1007/978-1-4614-7397-8_21 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7397-8_21
- Arnett E.B., Hein C.D., Schirmacher M.R., Huso M.M.P., Szwczak J.M.* Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines. – *PLOS ONE*. 2013. 8(9): e65794. DOI: 10.1371/journal.pone.0065794 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0065794>
- Arnett E.B., May R.F.* Mitigating wind energy impacts on wildlife: approaches for multiple taxa. – *Human–Wildlife Interactions*. 2016. 10(1): 28–41. DOI: 10.26077/1jeg-7r13 URL: <https://digitalcommons.usu.edu/hwi/vol10/iss1/5>
- Badger J., Bauwens I., Casso P., Davis N., Hahmann A., Hansen S.B.K., Hansen B.O., Heathfield D., Knight O.J., Lacave O., Lizcano G., Bosch i Mas A., Mortensen N.G., Olsen B.T., Onnenen M., Van Loon A.P., Volker P.* Global Wind Atlas version 3.0. Technical University of Denmark (DTU). 2021. URL: <https://globalwindatlas.info>
- Band B.* Using a Collision Risk Model to Assess Bird Collision Risks for Offshore Wind Farms. Report by British Trust for Ornithology (BTO). Bureau Waardenburg bv, University of St Andrews, 2012: 1–62. URL: https://www.bto.org/sites/default/files/u28/downloads/Projects/Final_Report_SOSS02_Band1ModelGuidance.pdf
- Band W.* Windfarms and Birds: calculating a theoretical collision risk assuming no avoiding action. Scottish Natural Heritage Guidance Note. 2000. URL: <http://www.snh.gov.uk/planning-and-development/renewable-energy/onshore-wind/assessing-bird-collision-risks>
- Band W., Madders M., Whitfield D.P.* Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. – *Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation / M. de Lucas, G.F.E. Janss, M. Ferrer (Eds.)*. Quercus, Madrid, 2007: 259–275. URL: https://www.natural-research.org/application/files/4114/9182/2839/Band_et_al_2007.pdf
- Barclay R.M.R., Baerwald E.F., Gruber J.C.* Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. – *Canadian Journal of Zoology*. 2007. 85(3): 381–387. DOI: 10.1139/Z07-011
- Barrera-Gil A., Pindado S., Avila S.* Extracting energy from Vortex-Induced Vibrations: A parametric study. – *Applied Mathematical Modelling*. 2012. 36(7): 3153–3160. DOI: 10.1016/j.apm.2011.09.085 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11006445>
- Barrios L., Rodríguez A.* Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. – *Journal of Applied Ecology*. 2004. 41: 72–81. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x>
- Bartmann R.M., White G.C., Carpenter L.H.* Compensatory mortality in a Colorado Mule Deer population. – *Wildlife Monographs*. 1992. 121: 3–39. URL: <https://www.jstor.org/stable/3830602>
- Beason R.C., Humphrey J.S., Myers N.E., Avery M.L.* Synchronous monitoring of vulture movements with satellite telemetry and avian radar. – *Journal of Zoology*. 2010. 282(3): 157–162. DOI: 10.1111/j.1469-7998.2010.00723.x URL: <https://zsl-publications.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-7998.2010.00723.x>
- Beccario C.* Earth: visualization of global weather conditions. 2021. URL: <https://earth.nullschool.net>
- Bell D.A., Smallwood K.S.* Birds of prey remain at risk. – *Science*. 2010. 330(6006): 913. DOI: 10.1126/science.330.6006.913-a
- Bellebaum J., Korner-Nievergelt F., Dürr T., Mammen U.* Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. – *Journal for Nature Conservation*. 2013. 21: 394–400. DOI: 10.1016/j.jnc.2013.06.001 URL: <https://cdn.birdlife.se/wp-content/uploads/2019/01/Population-effect-Red-Kite.pdf>
- Bennun L., van Bochove J., Ng C., Fletcher C., Wilson D., Phair N., Carbone G.* Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers. Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy, 2021: 1–229. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2021.04.en URL: <https://portals.iucn.org/library/node/49283>
- Bernardino J., Bevanger K., Barrientos R., Dwyer J.F., Marques A.T., Martins R.C., Shaw J.M., Silva J.P., Moreira F.* Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. – *Biological Conservation*. 2018. 222: 1–13. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.02.029 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320717317925>

- Bernis F. La migración de las aves en el Estrecho de Gibraltar. Vol. I: Aves planeadoras. 1st edn. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1980: 1–457.
- Beston J.A., Diffendorfer J., Loss S.R., Johnson D.H. Prioritizing avian species for their risk of population level consequences from wind energy development. – PLoS ONE. 2016. 11: e0150813. DOI: 10.1371/journal.pone.0150813 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0150813>
- Bijlsma R.G. The migration of raptors near Suez, Egypt, Autumn 1981. – Sandgrouse. 1983. 5: 19–14. URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/156199#page/25/mode/1up>
- Biodiv-Wind. The solution SafeWind®. 2021. URL: <https://www.biodiv-wind.com/#safewind>
- BirdLife International. *Aquila nipalensis*. – The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T22696038A180479129. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22696038A180479129.en. URL: <https://www.iucnredlist.org/es/species/22696038/180479129>
- BirdLife International. Important Bird Areas factsheet: Ary-standy, Chokpak Pass, Kenshetau Mountains. 2021. URL: <http://datazone.birdlife.org/site/mapsearch>
- BirdVision®. Kamerasystem zum Schutz windkraftempfindlicher Vogelarten an Windenergieanlagen [Camera system for protecting species of birds that are sensitive to wind power on wind turbines]. BirdVision GmbH & Co. KG, 2021. URL: <https://birdvision.org>
- Bodkhe V.D. Design and Development of Vortex Blade less Wind Turbine. – International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 2018. 2(3): 2460–2462. URL: <https://studylib.net/doc/25382819/design-and-development-of-vortex-blade-less-wind-turbine>
- Bohrer G., Brandes D., Mandel J.T., Bildstein K.L., Miller T.A., Lanzone M. Estimating updraft velocity components over large spatial scales: Contrasting migration strategies of Golden Eagles and Turkey Vultures. – Ecology Letters. 2012. 15(2): 96–103. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01713.x
- Bright J., Langston R., Bullman R., Gardner S., Pearce-Higgins J. Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: a tool to aid planning and conservation. – Biological Conservation. 2008. 141(9): 2342–2356. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.06.029
- Bruderer B., Blitzblau S., Peter D. Migration and flight behaviour of Honey buzzards *Pernis apivorus* in Southern Israel observed by radar. – Ardea. 1994. 82(1): 111–122. URL: <https://www.academia.edu/22968761>
- Bruderer B., Boldt A. Flight characteristics of birds. – Ibis. 2008. 143(2): 178–204. DOI: 10.1111/j.1474-919x.2001.tb04475.x
- Brunner H., Friedel T. Windkraft und Birkhuhnschutz: Fortbestand und Raumnutzung des Birkhuhns in ostalpinen Windparks. – Naturschutz und Landschaftsplanung. 2019. 51(12): 584–589. [Brunner H., Friedel T. Wind power and black grouse protection: continued existence and use of space for the black grouse in east alpine wind farms. – Nature Conservation and landscape planning. 2019. 51(12): 584–589. (in German).] URL: <https://www.oekoteam.at/images/oekodownload/2019-brunner-friedel-windkraft-und-birkhuhnschutz.pdf>
- Bruun B. Raptor migration in the Red Sea Area. – Conservation Studies on Raptors / I. Newton, R.D. Chancellor (Eds.). ICBP Technical Publication No. 5. 1985: 251–255. URL: http://www.raptors-international.org/book/conservation_studies_on_raptors_1985/Bruun_1985_251-255.pdf
- Cabrera-Cruz S.A., Cervantes-Pasquali J., Franquesa-Soler M., Muñoz-Jiménez Ó., Rodríguez-Aguilar G., Villegas-Patraca R. Estimates of aerial vertebrate mortality at wind farms in a bird migration corridor and bat diversity hotspot. – Global Ecology and Conservation. 2020. 22: e00966. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e00966 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419303075>
- Caccamise D.F., Hedin R.S. An aerodynamic basis for selecting transmitter loads in birds. – Wilson Bulletin. 1985. 97(3): 306–318. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/wilson/v097n03/p0306-p0318.pdf>
- Carrete M., Sánchez-Zapata J.A., Benítez J.R., Lobón M., Donázar J.A. Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. – Biological Conservation. 2009. 142(12): 2954–2961. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.07.027 URL: <https://www.researchgate.net/publication/228466665>
- Chamberlain D., Freeman S., Rehfisch M., Fox T., Desholm M. Appraisal of Scottish Natural Heritage's wind farm collision risk model and its application (BTO Research Report 401). Norfolk: British Trust for Ornithology, 2005: 1–52. URL: https://www.academia.edu/2446589/Appraisal_of_Scottish_Natural_Heritage_s_wind_farm_collision_risk_model_and_its_application
- Chamberlain D.E., Rehfisch M.R., Fox A.D., Desholm M., Anthony S.J. The effect of avoidance rates on bird mortality predictions made by wind turbine collision risk models. – Ibis. 2006. 148 (S1): 198–202. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2006.00507.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1474-919X.2006.00507.x>
- China Power International Development Limited Co. Zhanatas Wind Power Plant Environmental and Social Analysis. 2019: 1–51. URL: <http://en.cpihzhanatas.kz/wp-content/uploads/2019/11/Zhanatas-WPP-ESA.pdf>
- Chow J., Kopp R.J., Portney P.R. Energy resources and global development. – Science. 2003. 302(5650): 1528–1531. DOI: 10.1126/science.1091939 URL: <https://www.researchgate.net/publication/8984575>
- Christie D., Urquhart B. A refinement of the Band spreadsheet for wind turbine collision risk allowing for oblique entry. – New Zealand Journal of Zoology. 2015. 42(4): 290–297. DOI: 10.1080/03014223.2015.1064456 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03014223.2015.1064456>
- Collision Risk Modelling. – Natural Research Group. 2015 URL: <https://www.natural-research.org/ecological-consultancy-company/ornithology/collision-risk-modelling>
- Cook A.S.C.P., Humphreys E.M., Masden E.A., Burton N.H.K. The Avoidance Rates of Collision Between Birds and Offshore Turbines. – Scottish Marine and Freshwater Science. Vol. 5, number 16. Aberdeen: Marine Scotland Science, 2014: 1–248. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Cook-et-al-2014.pdf>
- Cooney R. The precautionary principle in biodiversity conservation and natural resource management: an issues paper for policy-makers, researchers and practitioners. (IUCN Policy and Global Change Series No. 2). IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 2004: 1–51. URL: <https://www.researchgate.net/publication/285882193>
- Dahl E.L., May R., Hoel P.L., Bevanger K., Pedersen H.C., Røskift E., Stokke B.G. White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. – Wildlife Society Bulletin. 2013. 37(1): 66–74. DOI: 10.1002/wsb.258 URL: <https://www.researchgate.net/publication/255180255>

- deCandido R., Gurung S., Subedi T., Allen D.* The east–west migration of Steppe Eagle *Aquila nipalensis* and other raptors in Nepal and India. – BirdingASIA. 2013. 19: 18–25. URL: <http://stgeorgebirdfest.com/wp-content/uploads/2017/04/Nepal.SteppeEagle.BirdingASIA.2013.pdf>
- de Lucas M., Ferrer M., Bechard M.J., Muñoz A.R.* Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. – Biological Conservation. 2012 a. 147(1): 184–189. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.12.029
- de Lucas M., Ferrer M., Janss G.F.E.* Using wind tunnels to predict bird mortality in wind farms: the case of Griffon Vultures. – PLoS ONE. 2012 b. 7: e48092. DOI: 10.1371/journal.pone.0048092 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0048092>
- de Lucas M., Janss G.F.E., Ferrer M.* The effects of wind farm on birds in a migration point: the strait of Gibraltar. – Biodiversity & Conservation. 2004. 13: 395–407. DOI: 10.1023/B:BIOC.0000006507.22024.93 URL: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3ABIOC.0000006507.22024.93>
- de Lucas M., Janss G., Ferrer M. (Eds.).* Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation, Ed. 1. Madrid: Quercus/Libreria Linneo, 2007: 1–275.
- de Lucas M., Janss G.F.E., Whitfield D.P., Ferrer M.* Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. – Journal of Applied Ecology. 2008. 45: 1695–1703. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x>
- den Besten J.W.* Migration of Steppe Eagles *Aquila nipalensis* and other raptors along the Himalayas past Dharamsala, India, in autumn 2001 and spring 2002. – Forktail. 2004. 20: 9–13.
- Dennhardt A.J., Duerr A.E., Brandes D., Katzner T.E.* Modeling autumn migration of a rare soaring raptor identifies new movement corridors in central Appalachia. – Ecological Modelling. 2015. 303: 19–29. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.02.010 URL: <https://www.researchgate.net/publication/273261412>
- Desholm M.* Wind farm related mortality among avian migrants – a remote sensing study and model analysis. PhD thesis. Dept. of Wildlife Ecology and Biodiversity, National Environmental Research Institute, Center for Macroecology, Institute of Biology, University of Copenhagen, 2006: 1–130. URL: http://www.dmu.dk/Pub/PHD_MDE.pdf
- Desholm M.* Avian sensitivity to mortality: prioritizing migratory bird species for assessment at proposed wind farms. – Journal of Environmental Management. 2009. 90(8): 2672–2679. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.02.005
- Desholm M., Kahlert J.* Avian collision risk at an offshore wind farm. – Biology Letters. 2005. 1(3): 296–298. DOI: 10.1098/rsbl.2005.0336
- Diffendorfer J.E., Stanton J.C., Beston J.A., Thogmartin W.E., Loss S.R., Katzner T.E., Johnson D.H., Erickson R.A., Merrill M.D., Corum M.D.* Demographic and potential biological removal models identify raptor species sensitive to current and future wind energy. – Ecosphere. 2021. 12(6): e03531. DOI: 10.1002/ecs2.3531 URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.3531>
- Directive 2011/92/EU of the European parliament and of the council of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. – Official Journal of the European Union. 2012. L 26/1: 1–21. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:026:0001:0021:EN:PDF>
- Dixon A., Maming R., Gunga A., Purev-Ochir G., Batbayar N.* The problem of raptor electrocution in Asia: case studies from Mongolia and China. – Bird Conservation International. 2013. 23(4): 520–529. DOI: 10.1017/S0959270913000300 URL: <https://www.researchgate.net/publication/278664776>
- Dokter A.M., Liechti F., Stark H., Delobbe L., Tabary P., Holleman I.* Bird migration flight altitudes studied by a network of operational weather radars. – Journal of the Royal Society, Interface. 2011. 8: 30–43. DOI: 10.1098/rsif.2010.0116 URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2010.0116>
- Drewitt A.L., Langston R.H.W.* Assessing the impacts of wind farms on birds. – Ibis. 2006. 148(s1): 29–42. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>
- DTBird®: Bird Smart & Transparent Wind Power. 2021. URL: <https://dtbird.com>
- DTBird® System: Bird monitoring and reduction of collision risk with Wind Turbines. 2017. URL: <http://conference.rescoop.eu/wp-content/uploads/2017/01/DTBird-System.pdf>
- Duerr A.E., Miller T.A., Lanzone M., Brandes D., Cooper J., O’Malley K., Maisonneuve C., Tremblay J., Katzner T.* Testing an emerging paradigm in migration ecology shows surprising differences in efficiency between flight modes. – PLoS ONE. 2012. 7: e35548. DOI: 10.1371/journal.pone.0035548 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0035548>
- Dusang D.* Impacts of Energy Development on the Lesser Prairie-Chicken Ecology and Management. A Thesis submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master’s of Zoology. Norman, Oklahoma, 2011: 1–71. URL: https://www.fws.gov/southwest/es/documents/R2ES/LitCited/LPC_2012/Dusang_2011_MSThesis.pdf
- Eccleston D.T., Harness R.E.* Raptor Electrocutions and Power Line Collisions. – Birds of Prey / Sarasola J., Grande J., Negro J. (Eds). Springer, Cham, 2018: 273–302. DOI: 10.1007/978-3-319-73745-4_12 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-73745-4_12
- EcoSocio Analysts LLC. Zhanatas windfarm birds monitoring report: Autumn 2019: 1–10. URL: <http://en.cpihzhanatas.kz/wp-content/uploads/2019/11/Zhanatas-WPP-Birds-Monit-Report.pdf>
- Elliott J.E., Hindmarch S., Albert C.A., Emery J., Mineau P., Maisonneuve F.* Exposure pathways of anticoagulant rodenticides to nontarget wildlife. – Environmental Monitoring and Assessment. 2014. 186(2): 895–906. DOI: 10.1007/s10661-013-3422-x URL: <https://www.researchgate.net/publication/256764469>
- Erickson W.P., Johnson G.D., Strickland M.D., Young D.P., Sernka K.J., Good R.E.* Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons of Avian Collision Mortality in the United States. NWCC c/o RESOLVE Inc., Washington, DC & LGL Ltd., King City, Ontario, 2001: 1–62. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/822418>
- Erickson W.P., Johnson G.D., Stickland M.D., Young D.P., Jr., Sernka K.J., Good R.E.* Avian collisions with wind turbines: a summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States. Cheyenne, WY: NWWestern EcoSystems Technology Inc., 2001: 1–62. DOI: 10.2172/822418 URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/822418>
- Erickson W., Johnson G., Young D., Strickland D., Good R., Bourassa M., Bay K., Sernka K.* Synthesis and comparison of

- baseline avian and bat use, raptor nesting and mortality information from proposed and existing wind developments. Final report prepared for Bonneville Power Administration, Portland, Oregon. Cheyenne, Wyoming, USA: WEST Inc., 2002: 1–124. URL: <https://www.nrc.gov/docs/ML1409/ML14098A019.pdf>
- Evans P.R., Lathbury G.W.* Raptor migration across the Straits of Gibraltar. – *Ibis*. 1973. 115(4): 572–585. DOI: 10.1111/j.1474-919X.1973.tb01994.x
- Everaert J., Steinen, E.W.M.* Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). – *Biodiversity and Conservation*. 2007. 16(12): 3345–3359. DOI: 10.1007/s10531-006-9082-1 URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10531-006-9082-1.pdf>
- Farfán M.A., Vargas J.M., Duarte J., Real R.* What is the impact of wind farms on birds? A case study in southern Spain. – *Biodiversity and Conservation*. 2009. 18(14): 3743–3758. DOI: 10.1007/s10531-009-9677-4 URL: <https://www.researchgate.net/publication/225624060>
- Feng X., Jiang Y., Yang X., Du M., Li X.* Computer vision algorithms and hardware implementations: A survey. – *Integration*. 2019. 69: 309–320. DOI: 10.1016/j.vlsi.2019.07.005 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167926019301762>
- Fernley J., Lowther S., Whitfield D.P.* A Review of Goose Collisions at Operating Wind Farms and Estimation of the Goose Avoidance Rate. Report. West Coast Energy Developments Ltd, Mold. 2007: 1–18. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Fernley-2006.pdf>
- Ferrer M., de Lucas M., Janss G.F.E., Casado E., Muñoz A.R., Bechard M.J., Calabuig C.P.* Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. – *Journal of Applied Ecology*. 2012. 49: 38–46. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02054.x URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2011.02054.x>
- Fielding A.H., Anderson D., Benn S., Dennis R., Geary M., Weston E., Whitfield D.P.* Non-territorial GPS-tagged Golden Eagles *Aquila chrysaetos* at two Scottish wind farms: Avoidance influenced by preferred habitat distribution, wind speed and blade motion status. – *PLoS ONE*. 2021. 16(8): e0254159. DOI: 10.1371/journal.pone.0254159 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0254159>
- Fielding A. H., Anderson D., Benn S., Dennis R., Geary M., Weston E., Whitfield D.P.* Responses of dispersing GPS-tagged Golden Eagles *Aquila chrysaetos* to multiple wind farms across Scotland. – *Ibis*. 2022. 164(1): 102–117. DOI: 10.1111/ibi.12996
- Finlayson C.* Birds of the Strait of Gibraltar. 1st edn. T. & A. D. Poyer, London, 1992: 1–534.
- Fontán L.E., García A.M., Nieto C., Tapia L.* Planes de seguimiento y vigilancia ambiental (PSVA) de avifauna en parques eólicos de Galicia: consideraciones sobre la metodología. – *Actas V Congreso Galego de Ornitología*, Santiago de Compostela 16 e 17 de novembro 2002 / S. González (Ed.) Unidixital, Sociedade Galega de História Natural, 2003: 21–27.
- Forsythe W.C., Rykiel E.J. Jr., Stahl R.S., Wu Hsin-i, Schoolfield R.M.* A model comparison for daylength as a function of latitude and day of year. – *Ecological Modelling*. 1995. 80(1): 87–95. DOI: 10.1016/0304-3800(94)00034-F URL: <https://www.researchgate.net/publication/216811293>
- Francis S., Umesh V., Shivakumar S.* Design and Analysis of Vortex Bladeless Wind Turbine. – *Materials Today: Proceedings*. Part of special issue: 3rd International e-Conference on Frontiers in Mechanical Engineering and nanoTechnology / J.B. Yadav, R. Devan, R.B. Patil, S.H. Tamboli, A.D. Chougale (Eds.). 2021. 47(16): 5584–5588. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.03.469 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321025244>
- Fridolfsson A., Ellegren H.* A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. – *Journal of Avian Biology*. 1999. 30(1): 116–121. DOI: 10.2307/3677252 URL: <http://www.jstor.org/stable/3677252>
- Fülöp A., Kovács I., Baltag E., Daróczi S.J., Dehelean A.S., Dehelean L.A., Kis R.B., Komáromi I.S., Latková H., Miholcsa T., Nagy A., Ölvedi S.Z., Papp T., Sándor A.K., Zeitz R., Kelemen M.A.* Autumn migration of soaring birds at Bosphorus: validating a new survey station design. – *Bird Study*. 2014. 61: 2: 264–269. DOI: 10.1080/00063657.2014.907236
- Garbett R., Herremans M., Maude G., Reading R.P., Amar A.* Raptor population trends in northern Botswana: A re-survey of road transects after 20 years. – *Biological Conservation*. 2018. 224(1): 87–99. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.05.020
- Garvin J.C., Jennelle C.S., Drake D., Grodsky S.M.* Response of raptors to a windfarm. – *Journal of Applied Ecology*. 2011. 48(1): 199–209. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x>
- Gauthreaux S.A., Besler C.G.* Radar ornithology and biological conservation. – *Auk*. 2003. 120: 266–277. DOI: 10.1642/0004-8038(2003)120[0266:ROABC]2.0.CO;2 URL: <https://www.researchgate.net/publication/232688049>
- Gil G., Savino G., Piantini S., Pierini M.* Is stereo vision a suitable remote sensing approach for motorcycle safety? An analysis of LIDAR, RADAR, and machine vision technologies subjected to the dynamics of a tilting vehicle. – *Proceedings of the 7th Transport Research Arena TRA 2018 (TRA 2018) "A Digital ERA For Transport – Solutions for Society, Economy and Environment"*, Vienna, Austria, 16–19 April 2018. Vienna, 2018: 1–10. DOI: 10.5281/zenodo.1436328 URL: <https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Gil/publication/329281093>
- Goldwind GW 121/2500*, 2017. URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1192-goldwind-gw-121-2500>
- Gradolewski D., Dziak D., Martynow M., Kaniecki D., Szurlej-Kielanska A., Jaworski A., Kulesza W.J.* Comprehensive Bird Preservation at Wind Farms. – *Sensors*. 2021. 21: 1: 267. DOI: 10.3390/s21010267 URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/1/267>
- Greater Spotted Eagle Moscow.* – AquilaSystem. 2021. URL: <https://gps.aquila-it.pl/en/migration-maps/greater-spotted-eagle-moscow>
- Grodsky S.M., Behr M.J., Gendler A., Drake D., Dieterle B.D., Rudd R.J., Walrath N.L.* Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. – *Journal of Mammalogy*. 2011. 92(5): 917–925. DOI: 10.1644/10-MAMM-A-404.1 URL: <https://academic.oup.com/jmammal/article/92/5/917/887513>
- Gründinger W.* The renewable energy sources act (EEG). – *Drivers of Energy Transition / W. Gründinger (Ed.)*. Springer VS, Wiesbaden, 2017: 257–419. DOI: 10.1007/978-3-658-17691-4_6 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-17691-4_6
- Grünkorn T., Blew J., Coppack T., Krüger O., Nehls G., Potiek A., Reichenbach M., von Rönn J., Timmermann H., Weitekamp S.* Prognosis and assessment of bird collision risks at wind turbines in northern Germany (PROGRESS). Final report commissioned by the Federal Ministry for Economic affairs and Energy

in the framework of the 6. Energy research programme of the federal government. Reference number FKZ 0325300A-D. Bio-Consult SH GmbH & Co. KG, 2016: 1–36. URL: <https://bioconsult-sh.de/site/assets/files/1575/1575.pdf>

Grünschachner-Berger V., Kainer M. Black Grouse *Tetrao tetrix* (Linnaeus 1758): How to live between Skiing Areas and Windparks. – *Egretta*. 2011. 52: 46–54. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Gruenschachner-Berger-2011.pdf>

Guila F., Pérez-García J.M. Bird electrocution on power lines: Spatial gaps and identification of driving factors at global scales. – *Journal of Environmental Management*. 2022. 301: 113890. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113890 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721019526>

Gurung S., Baniya S., Subedi T.R. East-West Migration of Endangered Steppe Eagles and other raptors in Thoolakharka watch site, Nepal: Migration count summary – autumn 2019: Technical Report 1/2019. Kathmandu: Himalyan Nature and Nepalese Ornithological Union, 2019: 1–19. DOI: 10.13140/RG.2.2.10159.28325/1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/338169365>

Gurung S., Baral M., Subedi T.R. Raptor migration count at Thoolakharka Nepal 2020-a summary report. Kathmandu: Himalyan Nature and Nepalese Ornithological Union, 2020: 1–17. DOI: 10.13140/RG.2.2.13978.16326 URL: <https://www.researchgate.net/publication/349070727>

Gurung S.B., Gurung S., Gurung S., McCarty K. Autumn 2003 Raptor Migration in Central Nepal. – *International Hawkwatcher*. 2004. 9: 12–15. URL: <https://www.hawkmountain.org/download/?id=4912&dl=1>

Hagen C.A., Pitman J.C., Loughlin T.M., Sandercock B.K., Robel R.J., Applegate R.D. Impacts of Anthropogenic Features on Habitat Use by Lesser Prairie-Chickens. – *Ecology, conservation, and management of grouse* / B.K. Sandercock, K. Martin, G. Segelbacher (Eds.). Vol. 39 in the series *Studies in Avian Biology*. Berkeley, CA: University of California Press, 2011: 63–76. DOI: 10.1525/9780520950573-007 URL: https://www.fws.gov/southwest/es/documents/R2ES/LitCited/LPC_2012/Hagen_et_al_2011.pdf

Haridass R., Jayaram singh K.S., Kumar T.R., Kumar B.S., Kannan L.T. Design and fabrication of bladeless windmill. – *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2018. 118(11): 557–561. DOI: 10.12732/ijpm.v118i11.71 URL: https://www.academia.edu/39008782/DESIGN_AND_FABRICATION_OF_BLADELESS_WINDMILL

Harness R., Milodragovich S., Schomburg J. Raptors and power line collisions. – *Colorado Birds*. 2003. 37: 118–122.

Hayes M.A. Bats killed in large numbers at United States wind energy facilities. – *BioScience*. 2013. 63(12): 975–979. DOI: 10.1525/bio.2013.63.12.10 URL: <https://academic.oup.com/bioscience/article/63/12/975/2365527>

Heiss M. The importance of Besh Barmag bottleneck (Azerbaijan) for Eurasian migrant birds. – *Acta Ornithologica*. 2013. 48(2): 151–164. DOI 10.3161/000164513X678900 URL: <https://www.researchgate.net/publication/263609310>

Hilgerloh G., Michalik A., Raddatz B. Autumn migration of soaring birds through the Gebel El Zeit Important Bird Area (IBA), Egypt, threatened by wind farm projects. – *Bird Conservation International*. 2011. 21(4): 365–375. DOI:10.1017/S0959270911000256

Hodos W. Minimization of motion smear: Reducing avian collisions with wind turbines. Period of performance: July 12, 1999 – August 31, 2002. (NREL/SR-500-33249). Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2003: 1–43. DOI: 10.2172/15004460 URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33249.pdf>

Hoekstra B., Jansen J., Engelen D., de Boer F., Benjumea R., Wehrmann J., Cavallès S., Kaasiku T., Jansen D., Fetting P., Aintila A., Vansteelandt W. Batumi Raptor Count: from migration counts to conservation in a raptor flyway under threat. – *British Birds*. 2020. 113: 439–460. URL: <https://www.researchgate.net/publication/343399561>

Hooge P.N., Eichenlaub B. Animal movement extension to ArcView, Version 1.1.: Alaska Science Center – Biological Science Office, U.S. Geological Survey, Anchorage, AK, USA, 1997. URL: https://gcmd.nasa.gov/records/USGS_animal_mvmt.html

Hooge P.N., Eichenlaub B., Solomon E.K. Using GIS to analyze animal movements in the marine environment. – Spatial processes and management of marine populations. University of Alaska Fairbanks, 2001: 37–51. URL: ftp://ftp.unine.ch/Bouzelboudjen/cisarovský/Cisarovský/Extension_AV_HRE_Animal-Movement2/AnimalMovement2/anim_mov_useme.pdf

Hoover S.L., Morrison M.L. Behavior of red-tailed hawks in a wind turbine development. – *The Journal of Wildlife Management*. 2005. 69: 150–159. DOI: 10.2193/0022-541X(2005)069<0150:BORHIA>2.0.CO;2

Hötker H., Thomsen K.-M., Jeromin H. Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats: facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. NABU, 2006: 1–65. URL: https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/englischewindkraftstudie_1252510701.pdf

Houghton J.E.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (Eds.). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 1–892. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf

Howe R.W., Evans W., Wolf A.T. Effects of Wind Turbines on Birds and Bats in Northeastern Wisconsin. University of Wisconsin – Green Bay, Green Bay, WI, 2002: 1–104. URL: https://docs.wind-watch.org/Howe_2002_wind-turbines-birds-bats-ne-wisc.pdf

Howell J.A. Bird mortality at rotor swept area equivalents, Altamont Pass and Montezuma Hills, California. – *Transactions of the Western Section of the Wildlife Society*. 1997. 33: 24–29. URL: https://www.wildlifeprofessional.org/western/transactions/transactions_1997_5.pdf

Howell J.A., DiDonato J.E. Assessment of avian use and mortality related to wind turbine operations, Altamont Pass, Alameda and Contra Costa counties, California, September 1988 through August 1989. Final report prepared for Kenetech Windpower. Livermore, CA, 1991: 1–72. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Howell-1991.pdf>

Howell J.A., Noone J., Wardner C. Visual experiment to reduce avian mortality related to wind turbine operations, Altamont Pass, Alameda and Contra Costa counties, California, April 1990 through March 1991. Final report prepared for Kenetech Windpower. Livennore, California: Kenetech Windpower, 1991: 1–26.

Hunt W.G., Jackman R.E., Brown T.L., Gilardi J.G., Driscoll D.E., Culp L. A Pilot Golden Eagle Population Study

- in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. Report to National Renewable Energy Laboratory. Predatory Bird Research Group, University of California, Santa Cruz, 1995: 1–219. DOI: 10.2172/86813 URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc793580>
- Hunt W.G., Jackman R.E., Hunt T.L., Driscoll D.E., Culp L.* A population study of Golden Eagles in the Altamont Pass Wind Resource Area: population trend analysis 1997. Report to National Renewable Energy laboratory, Subcontract XAT-6-16459-01. Predatory Bird Research Group, University of California, Santa Cruz, 1998: 1–43. DOI: 10.2172/12148 URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc627631>
- Hunt W.G., McClure C.J.W., Allison T.D.* Do raptors react to ultraviolet light? – *Journal of Raptor Research*. 2015. 49(3): 342–343. DOI: 10.3356/JRR-14-71.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/281415699>
- Hunt W.G., Wiens J.D., Law P.R., Fuller M.R., Hunt T.L., Driscoll D.E., Jackman R.E.* Quantifying the demographic cost of human-related mortality to a raptor population. – *PLoS ONE*. 2017. 12(2): e0172232. DOI: 10.1371/journal.pone.0172232 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0172232>
- Huntley B., Collingham Y.C., Green R.E., Hilton G.M., Rahbeck C., Willis S.G.* Potential impacts of climatic change upon geographical distribution of birds. In *Wind, Fire and Water: Renewable Energy and Birds*. – *Ibis*. 2006. 148(S1): 8–28. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2006.00523.x
- Hüppop O., Hilgerloh G.* Flight call rates of migrating thrushes: Effects of wind conditions, humidity and time of day at an illuminated offshore platform. – *Journal of Avian Biology*. 2012. 43(1): 85–90. DOI: 10.2307/41477957 URL: http://www.migration-hilgerloh.de/dokumente/Hueppop_Hilgerloh_JAvian-Biol_2012.pdf
- Huso M., Conkling T., Dalthrop D., Davis M., Smith H., Fesnock A., Katzner T.* Relative energy production determines effect of repowering on wildlife mortality at wind energy facilities. – *Journal of Applied Ecology*. 2021. 58(6): 1284–1290. DOI: 10.1111/1365-2664.13853 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13853>
- Hyams M.A.* Wind energy in the built environment. – *Metropolitan Sustainability: Understanding and Improving the Urban Environment* (Woodhead Publishing Series in Energy) / F. Zeman (Ed.). 2012: 457–499. DOI: 10.1533/9780857096463.3.457
- ICF International. Final Report Altamont Pass Wind Resource Area Bird Fatality Study, Monitoring Years 2005–2013. April. M107. (ICF 00904.08.) Prepared for Alameda County Community Development Agency, Hayward, CA. Sacramento, CA, 2016: 1–232. URL: https://www.acgov.org/cda/planning/landuseprojects/documents/Final_APWRA_BirdFatalityStudy2005-2013_041816.pdf
- Identiflight. Cutting Edge Technology: To protect wildlife and grow renewable energy. 2021. URL: <https://www.identiflight.com/about-us>
- IRENA. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019: 1–88. URL: https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2019/oct/irena_future_of_wind_2019.pdf
- Jenkins A.R., Smallie J.J., Diamond M.* Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. – *Bird Conservation International*. 2010. 20(3): 263–278. DOI: 10.1017/S0959270910000122 URL: <https://www.researchgate.net/publication/231876361>
- Jenness J.* Nearest features (nearfeat.avx) extension for ArcView 3.x. – Jenness Enterprises. 2004. URL: http://www.jennessent.com/arcview/nearest_features.htm
- Jenness J.* Distance Matrix (dist_mat_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 2. – Jenness Enterprises. 2005. URL: http://www.jennessent.com/arcview/dist_matrix.htm
- Jenni L., Schaub M.* Behavioural and physiological reactions to environmental variation in bird migration: a review. – *Avian Migration* / Berthold P., Gwinner E., Sonnenschein E. (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003: 155–171. DOI: 10.1007/978-3-662-05957-9_10 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-662-05957-9_10
- Janss G.F.E.* Avian mortality from power lines: a morphological approach of a species-specific mortality. – *Biological Conservation*. 2000. 95(3): 353–359. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00021-5
- Jobson B., Allinson T., Sheldon R., Vansteelant W., Buechley E., Oppel S., Jones V.R.* Monitoring of migratory soaring birds in the East African-Eurasian flyway: a review and recommendations for future steps. – *Sandgrouse*. 2021. 43: 2–23. URL: https://osme.org/wp-content/uploads/2021/05/Sandgrouse-43-1_Jobson_et_al.pdf
- Jodi Stemler Consulting. Wind power siting regulations and wildlife guidelines in the United States. Denver: Association of Fish & Wildlife Agencies & US Fish & Wildlife Service, 2007: 1–131. URL: <https://www.fws.gov/habitatconservation/wind-power/afwa%20wind%20power%20final%20report.pdf>
- Johnson G.D., Stephens S.E.* Wind Power and Bio Fuels: A Green Dilemma for Wildlife Conservation. Chapter 8. – *Energy Development and Wildlife Conservation in Western North America* / D.E. Naugle (Ed.). Washington, DC: Island Press, 2011: 131–155.
- Johnson G.D., Strickland M.D., Erickson W.P., Young D.P. Jr.* Use of data to develop mitigation measures for wind power development impacts to birds. – *Birds and wind farms, risk assessment and mitigation* / M. de Lucas, G.F.E. Janss, M. Ferrer (Eds.). Madrid, Spain: Servicios Informativos Ambientales/Quercus, 2007: 241–257. URL: <https://tethys.pnnl.gov/publications/birds-wind-farms-risk-assessment-mitigation>
- Johnson G.D., Young D.P., Erickson W.P., Clayton E., Derby C.E.M., Dale Strickland M.D., Good R.E.* Wildlife Monitoring Studies: SeaWest Windpower Project, Carbon County, Wyoming: 1995–1999. Report by Western Ecosystems Technology Inc (WEST). Report for US Bureau of Land Management (BLM). Rawlins, Wyoming, 2000: 1–207. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/johnson-et-al-2013.pdf>
- Johnston N.N., Bradley J.E., Otter K.A.* Increased Flight Altitudes among Migrating Golden Eagles Suggest Turbine Avoidance at a Rocky Mountain Wind Installation. *PLoS ONE*. 2014 a. 9(3): e93030. DOI: 10.1371/journal.pone.0093030 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0093030>
- Johnston N.N., Bradley J.E., Pomeroy A.C., Otter K.A.* Flight paths of migrating Golden Eagles and the risk associated with wind energy development in the Rocky Mountains. – *Avian Conservation and Ecology*. 2013. 8(2): 12. DOI: 10.5751/ACE-00608-080212 URL: <https://www.ace-eco.org/vol8/iss2/art12/>
- Johnston A., Cook A.S.C.P., Wright L.J., Humphreys E.M., Burton N.H.K.* Modelling flight heights of marine birds to more accurately assess collision risk with offshore wind turbines. – *Journal*

- of Applied Ecology. 2014 b. 51(1): 31–41. DOI: 10.1111/1365-2664.12191 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12191>
- Kaldellis J.K., Zafirakis D.* The wind energy (r)evolution: a short overview of a long history. – Renewable Energy. 2011. 36(7): 1887–1901. DOI: 10.1016/j.renene.2011.01.002
- Karatayev M., Clarke M.L.* Current Energy Resources in Kazakhstan and the Future Potential of Renewables: A Review. – Energy Procedia. Part of special issue: European Geosciences Union General Assembly 2014, EGU Division Energy, Resources & the Environment (ERE) / V.J. Bruckman, S. Hangx, M. Ask (Eds.). 2014. 59: 97–104. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.354 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214017214>
- Katzner T.E., Brandes D., Miller T., Lanzone M., Maisonneuve C., Tremblay J.A., Mulvihill R., Merovich G.T.* Topography drives migratory flight altitude of Golden Eagles: Implications for on-shore wind energy development. – Journal of Applied Ecology. 2012. 49(5): 1178–1186. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02185.x URL: <https://www.researchgate.net/publication/259800861>
- Katzner T.E., Nelson D.M., Braham M.A., Doyle J.M., Fernandez N.B., Duerr A.E., DeWoody J.A.* Golden Eagle fatalities and the continental-scale consequences of local wind-energy generation. – Conservation Biology. 2016. 31(2): 406–415. DOI: 10.1111/cobi.12836
- Katzner T.E., Turk P.J., Duerr A.E., Miller T.A., Lanzone M.J., Cooper J.L., Brandes D., Tremblay J.A., Lemaître J.* Use of multiple modes of flight subsidy by a soaring terrestrial bird, the golden eagle *Aquila chrysaetos*, when on migration. – Journal of the Royal Society Interface. 2015. 12(112): 20150530. DOI: 10.1098/rsif.2015.0530. URL: <https://www.researchgate.net/publication/283644814>
- Kenward R.* A manual of wildlife radio-tagging. Academic Press, London, 2001: 1–311.
- Kenward R.E., Pfeffer R.H., Al-Bowardi M.A., Fox N.C., Riddle K.E., Bragin E.A., Levin E.A., Walls S.S., Hodder K.H.* Setting harness sizes and other marking techniques for a falcon with strong sexual dimorphism. – Journal of Field Ornithology. 2001. 72(2): 244–257. DOI: 10.1648/0273-8570-72.2.2.244
- Kerlinger P.* Flight strategies of migrating hawks. University of Chicago Press, Chicago, 1989: 1–384.
- Kerlinger P.* An Assessment of the Impacts of Green Mountain Power Corporation's Wind Power Facility on Breeding and Migrating Birds in Searsburg, Vermont: July 1996 – July 1998. Cape May Point, New Jersey: Curry & Kerlinger LLC, 2002: 1–95. DOI: 10.1.1.497.8084 URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/view-doc/download?doi=10.1.1.497.8084&rep=rep1&type=pdf>
- Khosravi M.R.* Range Finder. – Code Project. 2009. URL: <https://www.codeproject.com/Articles/35029/Range-Finder>
- Kjellin J.* Vertical Axis Wind Turbines: Electrical System and Experimental Results. Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 981. Uppsala, 2012: 1–77. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:559793/FULLTEXT02.pdf>
- Kikuchi R.* Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. – Journal for Nature Conservation (Jena). 2008. 16(1): 44–55. DOI: 10.1016/j.jnc.2007.11.001
- Kingsley A., Whittam B.* Wind turbines and birds: a background review for environmental assessment. Gatineau, Quebec: Canadian Wildlife Service, Environment Canada, 2005: 1–81. DOI: 10.1.1.172.1664 URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/view-doc/download?doi=10.1.1.172.1664&rep=rep1&type=pdf>
- Köppel J. (Ed.)* Wind Energy and Wildlife Interactions: Presentations from the CWW2015 Conference. Springer International Publishing AG, 2017: 1–306.
- Konstantinidis E.I., Botsaris P.N.* Wind turbines: current status, obstacles, trends and technologies. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 161. 20th Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference (IManEE 2016) 23–25 September 2016, Kozani, Greece. 2016. 161 012079 DOI: 10.1088/1757-899X/161/1/012079 URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012079>
- Krijgsveld K.L., Akershoek K., Schenk F., Dijk F., Dirksen S.* Collision risk of birds with modern large wind turbines. – Ardea. 2009. 97(3): 357–366. DOI: 10.5253/078.097.0311 URL: <https://www.researchgate.net/publication/232676598>
- Kumar N., Gupta U., Jhala Y.V., Qureshi Q., Gosler A.G., Sergio F.* GPS-telemetry unveils the regular high-elevation crossing of the Himalayas by a migratory raptor: implications for definition of a “Central Asian Flyway”. – Scientific Reports. 2020. 10: 15988. DOI: 10.1038/s41598-020-72970-z URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-72970-z#citeas>
- Kunz T.H., Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., Strickland M.D., Thresher R.W., Tuttle M.D.* Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. – Frontiers in Ecology and the Environment. 2007. 5(6): 315–324. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2
- Kuvlesky W.P., Brennan L.A., Morrison M.L., Boydston K.K., Ballard B.M. & Bryant F.C.* Wind energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities. – The Journal of Wildlife Management. 2007. 71(8): 2487–2498. DOI: 10.2193/2007-248
- Langston R.H.W., Pullan J.D.* Windfarms and Birds: an analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and selection issues. Report written by BirdLife on behalf of the Bern convention. 23rd meeting Strasbourg, 1–4 December 2003. Strasbourg, 2003: 1–58. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Langston%20and%20Pullan%202003.pdf>
- Larsen J.K., Guillemette M.* Effects of wind turbines on flight behaviour of wintering common eiders: implications for habitat use and collision risk. – Journal of Applied Ecology. 2007. 1: 516–522. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2007.1303.x
- Leddy K.L., Higgins K.F., Naugle D.E.* Effects of wind turbines on upland nesting birds in conservation reserve program grasslands. – Wilson Bulletin. 1999. 111(1): 100–104. URL: <https://www.researchgate.net/publication/279654875>
- Lehman R.N., Kennedy P.L., Savidge J.A.* The state of the art in raptor electrocution research: a global review. – Biological Conservation. 2007. 136(2): 159–174. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.09.015 URL: http://www.globalraptors.org/grin/researchers/uploads/531/global_review_2007.pdf
- Lekuona J.M., Ursúa C.* Avian mortality in wind power plants of Navarra (northern Spain). – Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation, Ed. 1. / de Lucas M., Janss G., Ferrer M. (Eds.). Madrid: Quercus/Librería Linneo, 2007: 177–192.
- Li Y.* Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines: History, Performance, and Applications. – Rotating Machinery, Getu

- Hailu, IntechOpen. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.84761. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/65843>
- Liechti F., Guélat J., Komenda-Zehnder S.* Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. – *Biological Conservation*. 2013. 162: 24–32. DOI:10.1016/j.biocon.2013.03.018
- Literák I., Škrábal J., Karyakin I.V., Andreyenkova N.G., Vazhov S.V.* Black Kites on a Flyway Between Western Siberia and the Indian Subcontinent. 2021. (in print). DOI: 10.21203/rs.3.rs-777325/v1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/353808176>
- Litsgård F., Eriksson A., Wizelius T., Säfström T.* DTBird system Pilot Installation in Sweden. Possibilities for bird monitoring systems around wind farms. Experiences from Sweden's first DTBird installation. Ecocom AB. 21-12-2016. DTBird, 2016. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/dtbird-2016.pdf>
- Longcore T., Smith P.A.* On avian mortality associated with human activities. – *Avian Conservation and Ecology*. 2013. 8(2): 1. DOI: 10.5751/ACE-00606-080201 URL: <https://www.ace-eco.org/vol8/iss2/art1/>
- Loss S.R., Will T., Marra P.P.* Direct human-caused mortality of birds: improving quantification of magnitude and assessment of population impact. – *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2012. 10(7): 357–364. DOI: 10.1890/110251 URL: https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/35189/NZP_Marra_2012-Direct_human-caused_mortality_of_birds_improving_quantification_of_magnitude_and_assessment_of_population_impact.pdf
- Loss S.R., Will T., Marra P.* Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. – *Biological Conservation*. 2013. 168: 201–209. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.10.007
- Loss S.R., Will T., Marra P.P.* Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. – *Plos One*. 2014. 9(7): e101565. DOI: 10.1371/journal.pone.0101565 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101565>
- Lowther S.* The European perspective: some lessons from case studies. – Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 27–29, 1998. King City, Ontario Canada: LGL Ltd., 2000: 115–123. URL: https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Research_Meeting_III_Proceedings.pdf
- Madders M., Whitfield D.P.* Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. – *Ibis*. 2006. 148(s1): 43–56. DOI:10.1111/j.1474-919X.2006.00506.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1474-919X.2006.00506.x>
- Mandel J.T., Bildstein K.L., Bohrer G., Winkler D.W.* Movement ecology of migration in turkey vultures. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008. 105(490): 19102–19107. DOI: 10.1073/pnas.0801789105 URL: <https://www.pnas.org/content/105/49/19102>
- Manville A.M. II.* Bird strike and electrocutions at power lines, communication towers, and wind turbines: state of the art and state of the science – next steps toward mitigation. – *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference*. 2002 March 20–24; Asilomar, California, Volume 2 Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Albany, CA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 2005: 1051–1064. URL: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/32105>
- Manville A.M. II.* Towers, turbines, power lines, and buildings – steps being taken by the U.S. Fish and Wildlife Service to avoid or minimize take of migratory birds at these structures. – *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to tropics* / T.D. Rich, C. Arizmendi, D. Demarest, C. Thompson (Eds.). *Partners in Flight*, 2009: 262–272. URL: <https://www.fws.gov/migratorybirds/pdf/management/manville2009.pdf>
- Martin G.R.* Understanding bird collisions with man-made objects: A sensory ecology approach. – *Ibis*. 2011. 153(2): 239–254. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2011.01117.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1474-919X.2011.01117.x>
- Martin G.R., Portugal S.J., Murn C.P.* Visual fields, foraging and collision vulnerability in *Gyps* vultures. – *Ibis*. 2012. 154(3): 626–631. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2012.01227.x URL: <https://www.researchgate.net/publication/230707479>
- Martinez-Abrain A., Tavecchia G., Regan H.M., Jimenez J., Surroca M., Oro D.* Effects of wind farms and food scarcity on a large scavenging bird species following an epidemic of bovine spongiform encephalopathy. – *Journal of Applied Ecology*. 2012. 49: 109–117. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02080.x URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/j.1365-2664.2011.02080.x>
- Marques A. T., Batalha H., Rodrigues S., Costa H., Pereira M. J.R., Fonseca C., Mascarenhas M., Bernardino J.* Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. – *Biological Conservation*. 2014. 179: 40–52. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.08.017 URL: <https://docs.wind-watch.org/marques2014.pdf>
- Marques A.T., Santos C.D., Hanssen F., Muñoz A.-R., Onrubia A., Wikelski M., Moreira F., Palmeirim J.M., Silva J.P.* Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. – *Journal of Animal Ecology*. 2020. 89(1): 93–103. DOI: 10.1111/1365-2656.12961 URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Marquesetal2019.pdf>
- Masden E.A., Cook A.S.C.P.* Avian collision risk models for wind energy impact assessments. – *Environmental Impact Assessment Review*. 2016. 56: 43–49. DOI:10.1016/j.eiar.2015.09.001 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019592551500092X>
- May R.* Mitigation for birds. – *Wildlife and Wind Farms: Conflicts and Solutions*. Vol. 2: Onshore: Monitoring and Mitigation / M. Perrow (Ed.). Exeter, United Kingdom: Pelagic Publishing, 2017: 124–145.
- May R.F., Hamre Ø., Vang R., Nygård T.* Evaluation of the DTBird video-System at the Smøla Wind-Power Plant. Detection Capabilities for Capturing Near-Turbine Avian Behaviour (NINA Report 910). Trondheim, Norway: Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 2012: 1–27. URL: <https://brage.nina.no/nina-xmlui/handle/11250/2643072>
- May R., Nygård T., Dahl E.L., Reitan O., Bevanger K.* Collision risk in White-Tailed Eagles. Modelling kernel-based collision risk using satellite telemetry data in Smøla wind-power plant. – NINA Report 692. 2011: 1–22. URL: <https://www.researchgate.net/publication/255180387>
- May R., Nygård T., Falkdalen U., Åström J., Hamre Ø., Stokke.B.G.* Paint it black: Efficacy of increased wind-turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. – *Ecology and Evolution*. 2020. 10(16): 8927–8935. DOI: 10.1002/ece3.6592 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.6592>

- May R., Reitan O., Bevanger K., Lorentsen S.H., Nygård T. Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. – Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. 42: 170–181. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.002 URL: <https://www.researchgate.net/publication/267340840>
- McClure Ch.J.W., Martinson L., Allison T.D. Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. – Biological Conservation. 2018. 224: 26–33. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.04.041 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320717319407>
- McGrady M., Bragin E., Karyakin I., Babbayar N., Katzner T. Steppe Eagle *Aquila nipalensis*. – Migration Strategies of Birds of Prey in Western Palearctic / Panuccio M., Mellone U. and Agostini A. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida, 2021: 108–116. DOI: 10.1201/9781351023627-11
- McGrady M., Schmidt M., Andersen G., Meyburg Ch., Väli Ü., Allamki F., Meyburg B.-U. Movements of a male Greater Spotted Eagle (*Clanga clanga*) during its 2 and 3 calendar years. – Raptor Journal. 2021. 15. DOI: 10.2478/srj-2021-0001 URL: <https://sciendo.com/article/10.2478/srj-2021-0001>
- Meek E.R., Ribbands J.B., Christer W.G., Davy P.R., Higginson I. The effects of aero-generators on moorland bird populations in the Orkney Islands, Scotland. – Bird Study. 1993. 40(2): 140–143. DOI: 10.1080/00063659309477139
- Megalli M., Hilgerloh G. The soaring bird spring migration bottleneck at Ayn Sokhna, northern gulf of Suez, Egypt. – Sandgrouse. 2013. 35: 28–35. URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/229308#page/30/mode/1up>
- Meyburg B.-U., Eichaker X., Meyburg C., Paillat P. Migrations of an adult Spotted Eagle tracked by satellite. – British Birds. 1995. 88: 357–361. URL: <https://www.researchgate.net/publication/276354505>
- Meyburg B.U., Kirwan G.M., Garcia E.F.J. Greater Spotted Eagle (*Clanga clanga*). – Handbook of the Birds of the World Alive / del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (Eds.). Lynx Edicions, Barcelona, 2016. (retrieved from <http://www.hbw.com/node/53155>) URL: <https://www.researchgate.net/publication/339692826>
- Moyle R.G., Heppner F.H. Flight without horizon references in European starlings. – Auk. 1998. 115(3): 771–774. DOI: 10.2307/4089427 URL: https://digitalcommons.uri.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=bio_facpubs
- Mueller-Vahl H., Pechlivanoglou G., Nayeri C.N., Paschereit C.O. Vortex Generators for Wind Turbine Blades: A Combined Wind Tunnel and Wind Turbine Parametric Study. – ASME Turbo Expo 2012: Turbine Technical Conference and Exposition, June 11–15, 2012, Copenhagen, Denmark. Vol. 6: Oil and Gas Applications; Concentrating Solar Power Plants; Steam Turbines; Wind Energy. AMER SOC MECHANICAL ENGINEERS, 2013: 899–914. DOI: 10.1115/GT2012-69197
- Murgatroyd M., Bouten W., Amar A. A predictive model for improving placement of wind turbines to minimise collision risk potential for a large soaring raptor. – Journal of Applied Ecology. 2021. 58(4): 857–868. DOI: 10.1111/1365-2664.13799
- NASA JPL. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2013. DOI: 10.5067/MEASUREs/SRTM/SRTMGL1.003 URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003>
- Nathan R., Getz W.M., Revilla E., Holyoak M., Kadmon R., Saltz D., Smouse P.E. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. – PNAS. 2008. 105(49): 19052–19059. DOI: 10.1073/pnas.0800375105 URL: <https://www.pnas.org/content/105/49/19052>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). Wind speed at 80 m of Kazakhstan. – Greening the Grid. 2020. URL: https://greeningthegrid.org/where-we-work/pictures-for-where-we-work-countries/kazakhstan_wind_map/image_view_fullscreen
- New L., Bjerre E., Millsap B., Otto M.C., Runge M.C. A collision risk model to predict avian fatalities at wind facilities: an example using Golden Eagles, *Aquila chrysaetos*. – PLoS ONE. 2015. 10(7): e0130978. DOI: 10.1371/journal.pone.0130978 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0130978>
- Nichols J.D., Conroy M.J., Anderson D.R., Burnham K.P. Compensatory mortality in waterfowl populations: a review of the evidence and implications for research and management. – Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference. 1984. 49: 535–554.
- Nilsson C., Dokter A.M., Schmid B., Scacco M., Verlinden L., Bäckman J., Haase G., Dell'Ombo G., Chapman J.W., Leijnse H., Liechti F. Field validation of radar systems for monitoring bird migration. – Journal of Applied Ecology. 2018. 55(6): 2552–2564. DOI: 10.1111/1365-2664.13174 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13174>
- Northrup J.M., Wittemyer G. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. – Ecology Letters. 2013. 16(1): 112–125. DOI: 10.1111/ele.12009
- Ogden L.J.E. Collision course: The hazards of lighted structures and windows to migrating birds. World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program. Toronto, Ontario, 1996: 1–46.
- Onrubia A. Spatial and Temporal Patterns of Soaring Birds Migration Through the Straits of Gibraltar. Tesis Doctoral. León, 2015. URL: <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/5958/Tesis%20de%20Alejandro%20Onrubia.pdf>
- Orloff S. Tehachapi wind resource area avian collision baseline study. Prepared for California Energy Commission by Biosystems Analysis, Inc., Tiburon, CA, 1992: 1–21.
- Orloff S., Flannery A. Wind turbine effects on avian activity, habitat use, and mortality in Altamont Pass and Solano County Wind Resource Areas, 1989–1991. Final Report to Alameda, Contra Costa and Solano Counties and the California Energy Commission by Biosystems Analysis, Inc., Tiburon, CA, 1992: 1–199. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Orloff-1992.pdf>
- Orloff S., Flannery A. A continued examination of avian mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. Final Report to the California Energy Commission by Biosystems Analysis, Inc. Tiburon, CA, 1996: 1–55. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Orloff-1996.pdf>
- Osborn R.G., Dieter C.D., Higgins K.F., Usgaard R.E. Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. – The American Midland Naturalist. 1998. 139(1): 29–38. DOI: 10.1674/0003-0031(1998)139[0029:BFCNWT]2.0.CO;2
- Panuccio M., Ghafouri B., Nourani E. Is the Slope Between the Alborz Mountains and Caspian Sea in Northern Iran a Bottleneck for Migrating Raptors? – Journal of Raptor Research. 2018. 52(4): 530–533. DOI: 10.3356/JRR-17-92.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/329987405>
- Panuccio M., Martin B., Morganti M., Onrubia A., Ferrer M. Long-term changes in autumn migration dates at the Strait of Gibraltar reflect population trends of soaring birds. – Ibis. 2017.

- 50(1): 55–65. DOI: 10.1111/ibi.12420 URL: https://digital.csic.es/bitstream/10261/141899/1/Panuccio_et_al-2017-Ibis%20%281%29.pdf
- Panuccio M., Mellone U., Agostini A. (Eds.). *Migration Strategies of Birds of Prey in Western Palearctic*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2021: 1–320.
- Panwar N.L., Kaushik S.C., Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. 15: 1513–1524. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.037 URL: <https://beren.sakarya.edu.tr/sites/beren.sakarya.edu.tr/le/1380752545-07-RenewEn.pdf.pdf>
- Paré-Lambert O., Olivier M. A parametric study of energy extraction from vortex-induced vibrations. – *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*. 2018. 42(4): 359–369. DOI: 10.1139/tcsme-2017-0071
- Parsons Brinckerhoff Australia Pty Ltd. Kazakhstan Wind Map Transmission Lines. Melbourne, Australia, 2009. URL: <https://rfc.kegoc.kz/media/resource/2/atlas.rar>
- Paiva V.H., Guilford T., Meade J., Geraldes P., Ramos J.A., Garthe S. Flight dynamics of Cory's shearwater foraging in a coastal environment. – *Zoology*. 2010. 113(1): 47–56. DOI: 10.1016/j.zool.2009.05.003 URL: https://www.academia.edu/28362393/Flight_dynamics_of_Cory_s_shearwater_foraging_in_a_coastal_environment
- Pearce-Higgins J.W., Green R.E. *Birds and climate change: impacts and conservation responses*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014: 1–467. DOI: 10.1017/CBO9781139047791 URL: <https://www.cambridge.org/core/books/birds-and-climate-change/E962AC2DED850EA30BF54607F0C89F95>
- Percival S. Birds and windfarms: what are the real issues? – *British Birds*. 2005. 98: 194–204. URL: http://britishbirds.co.uk/wp-content/uploads/article_files/V98/V98_N04/V98_N04_P194_204_A002.pdf
- Perold V., Ralston-Paton S., Ryan P.G. On a collision course? The large diversity of birds killed by wind turbines in South Africa. – *Ostrich*. 2020. 91: 228–239. <https://doi.org/10.2989/00306525.2020.1770889>
- Phillips A.C., Majumdar S., Washburn B.E., Maye D., Swearyngin R.M., Herricks E.E., Guerrant T.L., Beckerman S.F., Pullins C.K. Efficacy of avian radar systems for tracking birds on the airfield of a large international airport. – *Wildlife Society Bulletin*. 2018. 42(3): 467–477. DOI: 10.1002/wsb.910 URL: <https://www.researchgate.net/publication/327804697>
- Piersma T., Spaans B., Dekking A. Are shorebirds sometimes forced to roost on water in thick fog? – *Wader Study Group Bulletin*. 2002. 97: 42–44. URL: <https://sora.unm.edu/node/121649>
- Poessel Sh.A., Bragin E.A., Sharpe P.B., Garcelon D.K., Bartosuk K., Katzner T.E. Movements and landscape use of Eastern Imperial Eagles *Aquila heliaca* in Central Asia. – *Bird Study*. 2018. 65(2): 208–218. DOI: 10.1080/00063657.2018.1447907
- Polyakova I.M., Nurpeissova S.A., Maulenov Zh.K., Dubinin A.A., Kelemeshev A.J. The Use of Alternative Energy Sources in Construction. – *International Journal of Engineering Research and Technology*. 209. 12(10): 1808–1812. URL: https://www.ripulation.com/irph/ijert19/ijertv12n10_27.pdf
- Poot H., Ens B.J., de Vries H., Donners M.A.H., Wernand M.R., Marquenie J.M. Green light for nocturnally migrating birds. – *Ecology and Society*. 2008. 13(2): 47. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art47>
- Porter R.F., Beaman M. A resume of raptor migration in Europe and the Middle East. – *Conservation Studies on Raptors* / I. Newton & R.D. Chancellor (Eds.). ICBP Technical Publication No. 5. 1985: 237–242. URL: http://www.raptors-international.org/book/conservation_studies_on_raptors_1985/Porter_Beaman_1985_237-242.pdf
- Porter R.F., Willis I. The autumn migration of soaring birds at the Bosphorus. – *Ibis*. 1968. 110: 520–536. DOI: 10.1111/j.1474-919X.1968.tb00061.x
- Prins H.H.T., Namgail T. (Eds.) *Bird Migration Across the Himalayas: Wetland Functioning Amidst Mountains and Glaciers*. Cambridge University Press, 2017: 1–458. DOI: 10.1017/9781316335420
- Prinsen H.A.M., Boere G.C., Pires N., Smallie J.J. (Compilers). Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region. CMS Technical Series. Bonn, Germany, 2011: 1–120. URL: https://www.cms.int/sites/default/files/document/mop5_38_electr_review_jkrev_0.pdf
- Pruett C.L., Patten M.A., Wolfe D.H. It's not easy being green: Wind energy and a declining grassland bird. – *BioScience*. 2009. 59(3): 257–262. DOI: 10.1525/bio.2009.59.3.10 URL: <https://academic.oup.com/bioscience/article/59/3/257/333531>
- Raghuvanshi S., Sonanis A., Pandey A., Shrivastava A., Bhanvariya M., Mourya Ch.S. Design and Fabrication of Vortex Bladeless Turbine. – *SSRN*. 2020. DOI: 10.2139/ssrn.3608544 URL: <https://ssrn.com/abstract=3608544>
- Rattner B.A., Lazarus R.S., Elliott J.E., Shore R.F., van den Brink N. Adverse Outcome Pathway and Risks of Anticoagulant Rodenticides to Predatory Wildlife. – *Environmental Science & Technology*. 2014. 48(15): 8433–8445. DOI: 10.1021/es501740n
- Richardson P.L. How do albatrosses fly around the world without flapping their wings? – *Progress in Oceanography*. 2011. 88(1–4): 46–58. DOI: 10.1016/j.pocean.2010.08.001
- Richardson P.L., Wakefield E.D., Phillips R.A. Flight speed and performance of the wandering albatross with respect to wind. – *Movement Ecology*. 2018. 6: 3. DOI: 10.1186/s40462-018-0121-9 URL: <https://movementecologyjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40462-018-0121-9>
- Richardson W.J. Bird migration and wind turbines: migration timing, flight behavior, and collision risk. – *Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III*, San Diego, California, May 27–29, 1998. King City, Ontario Canada: LGL Ltd., 2000: 132–140. URL: https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Research_Meeting_III_Proceedings.pdf
- Robel R.J., Harrington J.A. Jr., Hagen C.A., Pitman J.C., Reker R.R. Effect of energy development and human activity on the use of sand sagebrush habitat by lesser prairie-chickens in southwestern Kansas. – *Transactions of the North American Wildlife and Natural Resource Conference*. 2004. 69: 251–266. URL: <https://www.researchgate.net/publication/252594407>
- Ross-Smith V.H., Thaxter C.B., Masden E.A., Shamoun-Baranes J., Burton N.H., Wright L.J., Rehfisch M.M., Johnston A. Modelling flight heights of lesser black-backed gulls and great skuas from GPS: a Bayesian approach. – *Journal of Applied Ecology*. 2016. 53(6): 1676–1685. DOI: 10.1111/1365-2664.12760 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12760>
- Ruhe W. Bird hazard management in the German Armed Forces. – 28 International Bird Strike Committee (IBSC) Meeting and 4 Seminario Internacional Perigo Aviário e Fauna (Brasília, 24–28 Dec 2008). 2008: 1–7. URL: https://www.worldbird-strike.com/images/Resources/IBSC_Documents_Presentations/Brasil/IBSC28_WP14.pdf

- Saether B.E., Bakke O. Avian life history variation and contribution of demographic traits to the population growth rate. – *Ecology*. 2000. 81(3): 642–653. DOI: 10.2307/177366
- Saidur R., Rahim N.A., Islam M.R., Solangi K.H. Environmental impact of wind energy. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. 15(5): 2423–2430. DOI: 10.1016/j.rser.2011.02.024
- Sakamoto K.Q., Takahashi A., Iwata T., Yamamoto T., Yamamoto M., Trathan P.N. Heart rate and estimated energy expenditure of flapping and gliding in black-browed albatrosses. – *Journal of Experimental Biology*. 2013. 216(16): 3175–3182. DOI: 10.1242/jeb.079905 URL: <https://journals.biologists.com/jeb/article/216/16/3175/11573/Heart-rate-and-estimated-energy-expenditure-of>
- Sandercock B.K., Nilsen E.B., Brseth H., Pedersen H.C. Is hunting mortality additive or compensatory to natural mortality? Effects of experimental harvest on the survival and cause-specific mortality of willow ptarmigan. – *Journal of Animal Ecology*. 2011. 80: 244–258. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2010.01769.x URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2656.2010.01769.x>
- Santos M., Bastos R., Travassos P., Bessa R., Repas M., Cabral J. Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of northwest Portugal. – *Ecological Indicators*. 2010. 10(2): 192–205. DOI: 10.1016/j.ecolind.2009.04.014
- Santos C.D., Hanssen F., Muñoz A.R., Onrubia A., Wikelski M., May R., Silva J.P. Match between soaring modes of black kites and the fine-scale distribution of updrafts. – *Scientific Reports*. 2017. 7: 6421. DOI: 10.1038/s41598-017-05319-8 URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-05319-8>
- Savereno A.J., Savereno L.A., Boettcher R., Haig S.M. Avian behavior and mortality at power lines in coastal South Carolina. – *Wildlife Society Bulletin*. 1996. 24(4): 636–648. URL: [https://www.jstor.org/stable/3783152](http://www.jstor.org/stable/3783152)
- Schippers P., Buij R., Schotman A., Verboom J., van der Jeugd H., Jongejans E. Mortality limits used in wind energy impact assessment underestimate impacts of wind farms on bird populations. – *Ecology and Evolution*. 2020. 10(13): 6274–6287. DOI: 10.1002/ece3.6360 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.6360>
- Schmidt E.P., Bock C.E., Armstrong D.M. National Wind Technology Center Site Environmental Assessment: Bird and Bat Use and Fatalities – Final Report (Period of Performance: April 23, 2001 – December 31, 2002). University of Colorado Boulder, Colorado, 2003: 1–29. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32981.pdf>
- Shamoun-Baranes J., Leshem Y., Yom-Tov Y., Liechti O. Differential use of thermal convection by soaring birds over Central Israel. – *Condor*. 2003. 105: 208–218. DOI: 10.1650/0010-5422(2003)105[0208:DUOTCB]2.0.CO;2 URL: <https://www.researchgate.net/publication/232663767>
- Shamoun-Baranes J., Liechti F., Vansteelant W.M.G. Atmospheric conditions create freeways, detours and tailbacks for migrating birds. – *Journal of Comparative Physiology A*. 2017. 203: 509–529. DOI: 10.1007/s00359-017-1181-9 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00359-017-1181-9>
- Shirihai H., Yosef R., Alon D., Kirwan G.M., Spaar R. Raptor migration in Israel and the Middle East: A summary of 30 years of field research. International birding and research center, Eilat, 2000: 1–191.
- Shobrak M., Alasmari S., Alqthami A., Alqthami F., Al-Otaibi A., Zoubi M., Moghrabi L., Jbour SH., Asswad N.G., Oppel S., Arkumarev V., Nikolov S. Electric infrastructure poses a significant threat at congregation sites of the globally threatened Steppe Eagle *Aquila nipalensis* in Saudi Arabia. – *Bird Conservation International*. 2021: 1–9. DOI: 10.1017/S0959270921000204 URL: <https://www.researchgate.net/publication/352412607>
- Sklyarenko S., Gavrilov E., Gavrilov A. Migratory ways of raptors and owls in Kazakhstan according to ringing data. – *Vogelwarte*. 2002. 41: 263–8. URL: https://www.zobodat.at/pdf/Vogelwarte_41_2002_0263-0268.pdf
- Smallwood K.S., Bell D.A. Effects of wind turbine curtailment on bird and bat fatalities. – *The Journal of Wildlife Management*. 2020. 84(4): 685–696. DOI: 10.1002/jwmg.21844 URL: <https://wildlife.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jwmg.21844>
- Smallwood K.S., Karas B. Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in California. – *The Journal of Wildlife Management*. 2009. 73(7): 1062–1071. DOI: 10.2193/2008-464
- Smallwood K.S., Rugge L., Morrison M.L. Influence of behavior on bird mortality in wind energy developments. – *The Journal of Wildlife Management*. 2009. 73(7): 1082–1098. DOI: 10.2193/2008-555
- Smallwood K.S., Thelander C.G. Developing methods to reduce bird mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. California Energy Commission, California, 2004: 1–520.
- Smallwood K.Sh., Thelander C. Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. – *The Journal of Wildlife Management*. 2008. 72(1): 215–23. DOI: 10.2193/2007-032 URL: <http://www.jstor.org/stable/25097521>
- Sovacool B.K. The avian and wildlife costs of fossil fuels and nuclear power. – *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2012. 9(4): 255–278. DOI: 10.1080/1943815X.2012.746993 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1943815X.2012.746993>
- Sovacool B.K. The avian benefits of wind energy: a 2009 update. – *Renewable Energy*. 2013. 49: 19–24. DOI: 10.1016/j.renene.2012.01.074 URL: <https://www.researchgate.net/publication/271574560>
- Spaar R. Flight strategies of migrating raptors; a comparative study of interspecific variation in flight characteristics. – *Ibis*. 1997. 139(3): 523–535. DOI: 10.1111/j.1474-919X.1997.tb04669.x URL: <https://www.researchgate.net/publication/227647758>
- Spear L.B., Ainley D.G. Flight behaviour of seabirds in relation to wind direction and wing morphology. – *Ibis*. 1997. 139(2): 221–233. DOI: 10.1111/j.1474-919X.1997.tb04620.x
- Stewart G.B., Pullin A.S., Coles C.F. Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. – *Environmental Conservation*. 2007. 34(1): 1–11. DOI: 10.1017/S0376892907003554
- Stokke B.G., Nygård T., Falkdalen U., Pedersen H.C., May R. Effect of tower base painting on willow ptarmigan collision rates with wind turbines. – *Ecology and Evolution*. 2020. 10 (12): 5670–5679. DOI: 10.1002/ece3.6307 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.6307>
- Strick J., Vercammen P., Judas J., Combreau O. Satellite tracking of a rehabilitated Greater Spotted Eagle *Aquila clanga*. – *Zoology in the Middle East*. 2011. 54(s3): 103–106. DOI: 10.1080/09397140.2011.10648901 URL: <https://www.researchgate.net/publication/271669630>
- Subedi T.R., DeCandido R., Baral H.S., Gurung S., Gurung S., Puan C.L., Sah S.A.M. Population structure and annual migra-

- tion pattern of Steppe Eagles at Thoolakharka watch site, Nepal, 2012–2014. – Journal of Raptor Research. 2017. 51(2): 165–171. DOI: 10.3356/JRR-16-70.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/317954261>
- Tapia L., Domínguez J., Rodríguez L.* Using probability of occurrence to assess potential interaction between wind farm and a residual population of Golden Eagle *Aquila chrysaetos* in NW Spain. – Biodiversity and Conservation. 2009. 18: 2033–2041. DOI: 10.1007/s10531-008-9571-5 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-008-9571-5>
- Telleria J.L.* Wind power plants and the conservation of birds and bats in Spain: a geographical assessment. – Biodiversity and Conservation. 2009. 18: 1781–1791. DOI: 10.1007/s10531-008-9558-2 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-008-9558-2>
- Thaxter C.B., Buchanan G.M., Carr J., Butchart S.H.M., Newbold T., Green R.E., Tobias J.A., Foden W.B., O'Brien S., Pearce-Higgins J.W.* Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. – Proceedings of the Royal Society B (Biological Sciences). 2017. 284: 20170829. DOI: 10.1098/rspb.2017.0829 URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2017.0829>
- Thelander C.G., Rugge L.* Avian risk behavior and fatalities at the Altamont Wind Resource Area – March 1998 to February 1999. Prepared by BioResource Consultants for the National Renewable Energy Laboratory, Subcontract No. TAT-8-18209-01, NREL/SR-500-27545. Golden, CO. 2000 a: 1–23. DOI: 10.1.1.543.7068 URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc703447>
- Thelander C.G., Rugge L.* Bird Risk Behaviors and Fatalities at the Altamont Wind Resource Area. – Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 27–29, 1998. King City, Ontario Canada: LGL Ltd., 2000 b: 5–14. URL: https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Research_Meeting_III_Proceedings.pdf
- Thelander C.G., Smallwood K.S., Rugge L.* Bird Risk Behaviors and Fatalities at the Altamont Pass Wind Resource Area. Period of Performance: March 1998 – December 2000. Springfield, VA, 2003: 1–87. DOI: 10.2172/15006013 URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33829.pdf>
- Thomas P.J., Mineau P., Shore R.F., Champoux L., Martin P.A., Wilson L.K., Fitzgerald G., Elliott J.E.* Second generation anticoagulant rodenticides in predatory birds: probabilistic characterisation of toxic liver concentrations and implications for predatory bird populations in Canada. – Environment International. 2011. 37: 914–920. DOI: 10.1016/j.envint.2011.03.010
- Tomé R., Canário F., Leitão A.H., Pires N., Repas M.* Radar assisted shutdown on demand ensures zero soaring bird mortality at a wind farm located in a migratory flyway. – Wind Energy and Wildlife Interactions / J. Köppel (Ed.). Springer, Cham, 2017: 119–133. DOI: 10.1007/978-3-319-51272-3_7 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51272-3_7
- Tomé R., Leitão A., Canário F., Pires N., Vieira N., Sampaio M., Eisa M.* Effectiveness of Radar Assisted Shutdown on Demand of Turbines as a Mitigation Tool to Avoid Soaring Bird Mortality in Wind Farms. – NWCC Wind Wildlife Research Meeting XII Proceedings, November 28–30, 2018, St. Paul, Minnesota. Washington, 2019. 93–97. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/WWRM-12-Proceedings-March-2019.pdf>
- Ullman M., Ullman M.* Migration of harriers and other raptors at Ashura Deh, Iran, April 2008. – Sandgrouse. 2010. 32: 4–12.
- Ünal Altundağ M., Karataş A.* Soaring bird migration in 2015 spring at Belen Pass, Hatay, Turkey. – Bihamarean Biologist. 2020. 14 (2): 109–115. URL: <https://www.researchgate.net/publication/344153731>
- UNDP Kazakhstan. Ветровая электростанция вблизи п. Жузумдык Прединвестиционное исследование. Алматы, 2008. 23 с. [UNDP Kazakhstan. Windfarm near Zhuzumdyk. Pre-investment study. Almaty, 2008: 1–23. (in Russian).] URL: http://web.archive.org/web/20170508122313/http://www.windennergy.kz/files/1219751323_file.pdf
- Üner Ö., Boyla K.A., Bacak E., Birel E., Çelikoba İ., Dalyan C., Tabur E., Yardım Ü.* Spring migration of soaring birds over the Bosphorus, Turkey, in 2006. – Sandgrouse. 2010. 32: 20–33. URL: https://osme.org/wp-content/uploads/2019/10/5_Uner_et_al_Sandgrouse32-1_20-33_comp.pdf
- Urquhart B., Whitfield D.P.* Derivation of an avoidance rate for Red Kite *Milvus milvus* suitable for onshore wind farm collision risk modelling. Natural Research Information Note 7. Banchory, UK: Natural Research Ltd, 2016: 1–21. URL: https://www.natural-research.org/download_file/view/338/340
- USFWS. US Fish and Wildlife Service Land-Based Wind Energy Guidelines. 2012: 1–72. URL: https://www.fws.gov/ecological-services/es-library/pdfs/WEG_final.pdf
- Usov A.* EBRD, AIIB, ICBC and GCF provide US\$ 95.3 million for wind farm in Kazakhstan. – European Bank for Reconstruction and Development. 2020. URL: <https://www.ebrd.com/news/2020/ebrd-aiib-icbc-and-gcf-provide-us-953-million-for-wind-farm-in-kazakhstan.html>
- Uysal I., Tosunoğlu M.* Migration of raptor birds across the Gallipoli Peninsula/Dardanelles, Turkey. – American Journal of Innovative Research and Applied Sciences. 2018. 6(6): 288–293. URL: <https://american-jiras.com/Ibrahim-Manuscript%20-ajira090618.pdf>
- van Gasteren H., Krijgsveld K.L., Klauke N., Leshem Y., Metz I.C., Skakuj M., Sorbi S., Schekler I., Shamoun-Baranes J.* Aeroecology meets aviation safety: Early warning systems in Europe and the Middle East prevent collisions between birds and aircraft. – Ecography. 2019. 42: 899–911. DOI: 10.1111/ecog.04125 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ecog.04125>
- Vansteelant W.M., Verhelst B., Shamoun-Baranes J., Bouten W., Loon E.E., Bildstein K.L.* Effect of wind, thermal convection, and variation in flight strategies on the daily rhythm and flight paths of migrating raptors at Georgia's Black Sea coast. – Journal of Field Ornithology. 2014. 85(1): 40–55.
- Vansteelant W.M.G., Wehrmann J., Engelen D., Jansen J., Verhelst B., Benjumea R., Cavaillès S., Kaasiku T., Hoekstra B., de Boer F.* Accounting for differential migration strategies between age groups to monitor raptor population dynamics in the eastern Black Sea flyway. – Ibis. 2020. 162: 356–372. DOI: 10.1111/ibi.12773 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ibi.12773>
- Verhelst B., Jansen J., Vansteelant W.M.G.* South West Georgia: an important bottleneck for raptor migration during autumn. – Ardea. 2011. 99: 137–146. DOI: 10.5253/078.099.0203
- Ventura F., Granadeiro J.P., Padgett O., Catry P.* Gadfly petrels use knowledge of the windscape, not memorized foraging patches, to optimize foraging trips on ocean-wide scales. – Proceedings of the Royal Society B (Biological Sciences). 2020. 287(1918): 20191775. DOI: 10.1098/rspb.2019.1775

- URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2019.1775>
- Vishnu M.R., Akash A., Akhil Ra.R., Gopi K.S., Jishnu J.M. Design and Fabrication of Bladeless Windmill. – International Journal of Engineering Science and Computing. 2019. 9(6): 22862–22865. URL: [https://ijesc.org/upload/dda9846ccc1b-1023c40074a72998e2ce.Design%20and%20Fabrication%20of%20Bladeless%20Windmill%20\(3\).pdf](https://ijesc.org/upload/dda9846ccc1b-1023c40074a72998e2ce.Design%20and%20Fabrication%20of%20Bladeless%20Windmill%20(3).pdf)
- Voigt C.C., Straka T.M., Fritze M. Producing wind energy at the cost of biodiversity: A stakeholder view on a green-green dilemma. – Journal of Renewable and Sustainable Energy. 2019. 11(6): 063303. DOI: 10.1063/1.5118784 URL: <https://www.researchgate.net/publication/337549349>
- Vulture detection (NN). Madrid, Spain: Science and Technology campus of Montegancedo, 2020. URL: http://www.airelectronics.es/products/neural_network/net_vulture
- Wakefield E.D., Phillips R.A., Matthiopoulos J., Fukuda A., Higuchi H., Marshall G.J., Trathan P.N. Wind field and sex constrain the flight speeds of central-place foraging albatrosses. – Ecological Monographs. 2009. 79(4): 663–679. DOI: 10.1890/07-2111.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/250075683>
- Walker D., McGrady M., McCluskie A., Madders M., McLeod D.R.A. Resident Golden Eagle ranging behaviour before and after construction of a windfarm in Argyll. – Scottish Birds. 2005. 25: 24–40. URL: <https://www.researchgate.net/publication/281224614>
- Watson R.T., Kolar P.S., Ferrer M., Nygård T., Johnston N., Hunt W.G., Smit-Robinson H.A., Farmer C.J., Huso M., Katzner T.E. Raptor interactions with wind energy: Case studies from around the world. – Journal of Raptor Research. 2018. 52(1): 1–18. DOI: 10.3356/JRR-16-100.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/323563299>
- Wehrmann J., de Boer F., Benjumea R., Cavailles S., Engelen D., Jansen J., Verhelst B., Vansteelant W. Batumi raptor count: autumn raptor migration count data from the Batumi bottleneck, Republic of Georgia. – ZooKeys. 2019. 836: 135–157. DOI: 10.3897/zookeys.836.29252. URL: <https://zookeys.pensoft.net/article/29252>
- Weimerskirch H., Guionnet T., Martin J., Shaffer S.A., Costa D.P. Fast and fuel efficient? Optimal use of wind by flying albatrosses. – Proceedings of the Royal Society B (Biological Sciences). 2000. 267(1455): 1869–1874. DOI: 10.1098/rspb.2000.1223 URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2000.1223>
- Welch G., Welch H. The autumn migration of raptors and other soaring birds across the Bab-el-Mandeb Straits. – Sandgrouse. 1988. 10: 26–50. URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/156075#page/32/mode/1up>
- Welch G., Welch H. The autumn migration of the Steppe Eagle. – Sandgrouse. 1991. 13: 24–33. URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/156130#page/26/mode/1up>
- Winkelman J.E. De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels, 1: aanvaringsslachtoffers [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), the Netherlands, on birds, 1: collision victims]. RIN-rapport 92/2. Arnhem, Netherlands: DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, 1992: 1–144. URL: <https://edepot.wur.nl/385853>
- Winkelman J.E. Bird/wind turbine investigations in Europe. – Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting, Denver, CO, July 1994, NWCC c/o RESOLVE, Washington, DC & LGL Ltd., King City, Ontario, 1995: 43–48.
- Whitfield D.P. Collision Avoidance of Golden Eagles at Wind Farms under the ‘Band’ Collision Risk Model. Report to Scottish Natural Heritage. Natural Research Ltd, Banchory, UK, 2009: 1–35. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Whitfield-2009.pdf>
- Whitfield D.P., Fielding A.H. Analyses of the fates of satellite tracked Golden Eagles in Scotland. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 982. Edinburgh: Scottish Natural Heritage, 2017: 1–271. URL: <https://www.nature.scot/doc/naturescot-commissioned-report-982-analyses-fates-satellite-tracked-golden-eagles-scotland>
- Whitfield D.P., Madders M. A review of the impacts of wind farms on Hen Harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. Natural Research Information Note 1 (revised). Natural Research Ltd, 2006 a: 1–32. URL: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Whitfield-et-al-2006.pdf>
- Whitfield D.P., Madders M. Deriving collision avoidance rates for Red Kites *Milvus milvus*. Natural Research Information Note 3. Natural Research Ltd, 2006 b: 1–14. URL: <https://www.researchgate.net/publication/237327067>
- Whittlesey R. Vertical Axis Wind Turbines. – Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines / T.M. Letcher (Ed.). Elsevier, 2017: 185–202. DOI: 10.1016/B978-0-12-809451-8.00010-2
- Worton B. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. – Ecology. 1989. 70(1): 164–168. DOI: 10.2307/1938423 URL: <https://www.jstor.org/stable/1938423>
- Yamamoto T., Kohno H., Mizutani A., Sato H., Yamagishi H., Fujii Y., Murakoshi M., Yoda K. Effect of Wind on the Flight of Brown Booby Fledglings. – Ornithological Science. 2017. 16(1): 17–22. DOI: 10.2326/osj.16.17
- Yáñez D.J. An electrical power generator and an electrical generator method. Patent W PCT/EP2015/072802, 2015: 1–63. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2016055370A2>
- Yáñez D.J. VIV resonant wind generators. 2018: 1–6. URL: <https://www.researchgate.net/publication/331345449>
- Young D.P., Erickson W.P., Strickland M.D., Good, R.E., Sernka K.J. Comparison of Avian Responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines. Subcontract Report July 1999 – December 2000. Cheyenne, Wyoming: Western EcoSystems Technology, Inc., 2003: 1–67. DOI: 10.2172/15003047 URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32840.pdf>
- Zalles J.L., Bildstein K. Raptor Watch: A Global Directory of Migration Sites. Birdlife Conservation Series 9. Wahsington, DC, USA, 2000: 1–438.
- Zeiler H., Grünschachner-Berger V. Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. – Folia Zool. 2009. 58(2): 173–182. URL: <https://cdn.birdlife.se/wp-content/uploads/2019/01/Impact-of-wind-power-plants-on-black-grouse-Lyrurus-tetrix-in-Alpine-regions.pdf>
- Zimmerling J.R., Pomeroy A.C., d'Entremont M.V., Francis C.M. Canadian estimate of bird mortality due to collisions and direct habitat loss associated with wind turbine developments. – Avian Conservation and Ecology. 2013. 8(2): 10. DOI: 10.5751/ACE-00609-080210 URL: <https://www.ace-eco.org/vol8/iss2/art10>
- Zwart M.C., McKenzie A.J., Minderman J., Whittingham M.J. Conflicts Between Birds and On-Shore Wind Farms. – Problematic Wildlife / Angelici F. (Ed.). Springer, Cham, 2016: 489–504. DOI: 10.1007/978-3-319-22246-2_23 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-22246-2_23