

Raptor Research

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРНАТЫХ ХИЩНИКОВ

Golden Eagle in Karatau and Chu-Ili Mountains (Kazakhstan) and Assessment of Risks to its Populations from Developing Wind Energy

БЕРКУТ В КАРАТАУ И ЧУ-ИЛИЙСКИХ ГОРАХ (КАЗАХСТАН) И ОЦЕНКА РИСКОВ ЕГО ПОПУЛЯЦИЯМ СО СТОРОНЫ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

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

Pulikova G.I. (Biodiversity Research and Conservation Center Community Trust, Astana, Kazakhstan)

Kaptyonkina A.G. (Biodiversity Research and Conservation Center Community Trust, Institute of Zoology of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan)

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

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

Каптёнкина А.Г. (Общественный фонд «Центр изучения и сохранения биоразнообразия», Институт зоологии Министерства образования и науки РК, Алматы, Казахстан)

Контакт:

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

Кирилл Книзов
тел.: +7 777 084 22 83
kirillknizhov@gmail.com

Эльвира Николенко
тел.: +7 923 150 12 79
elvira_nikolenko@mail.ru

Елена Шнайдер
тел.: +7 913 795 65 49
equ001@gmail.com

Генриетта Пуликова
Общественный фонд
«Центр изучения и
сохранения биоразно-
образия»
Z05H9B0, Казахстан,
Астана, ул. Кунаева 12/1,
офис 420
тел.: + 7 702 768 40 00
genriyetta.pulikova@
gmail.com

Резюме

Беркут (*Aquila chrysaetos*) – самый крупный орёл Казахстана, гнездящийся практически во всех горных и лесных районах страны. В Каратау и Чу-Илийских горах сосредоточены две крупные гнездовые группировки этого вида, которым с 2021 г. угрожает развитие сети ветроэлектростанций (ВЭС), так как обе этих гнездовых группировки сосредоточены в мощных ветровых коридорах, перспективных для выработки ветровой энергии. В ходе работы мы смоделировали распространение беркута в Каратау и Чу-Илийских горах, используя метод классификации изображений «Random Forest», рассчитали численность вида на данной территории и оценили угрозы его гнездовым группировкам со стороны как существующих, так и перспективных ВЭС. Площадь гнездопригодных для беркута биотопов определена в 18209,9 км², площадь местообитаний – 67602,43 км². Численности беркута в Каратау и на прилегающих территориях по состоянию на 2024 г. оценена в 434–645, в среднем 466 гнездящихся пар (известно 80 гнездовых участков) и 1126–1674, в среднем 1209 особей с учётом слётков текущего года и неполовозрелых птиц, в Чу-Илийских горах – в 163–292, в среднем 222 гнездящиеся пары (известно 40 гнездовых участков), и 422–757, в среднем 575 особей. Численность мигрирующих через Каратау беркутов оценена в 7276–11423, в среднем 8386 особей. В зоне влияния Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» радиусом 4,5 км за 3 года исчезли на гнездовании 3 пары беркутов. Часть птиц из расформированных пар погибла в результате столкновения с лопастями ветряных турбин, что подтверждено останками двух беркутов, обнаруженных под турбинами. На основании расчётов в CRM «Band» была создана карта рисков с шагом ячейки 5 км, представляющая собой оценку вероятной гибели орлов при строительстве ВЭС в этих ячейках. Результаты данного исследования применимы для планирования мероприятий по охране беркута, анализа рисков развития не только ветроэнергетики, но и иного землепользования, включая добычу полезных ископаемых и даже рекреацию, а также для реализации компенсационных мероприятий антропогенного вмешательства в местообитания беркута.

Рекомендуемая цитата: Карякин И.В., Книзов К.И., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Пуликова Г.И., Каптёнкина А.Г. Беркут в Каратау и Чу-Илийских горах (Казахстан) и оценка рисков его популяциям со стороны развивающейся ветроэнергетики. – Пернатые хищники и их охрана. 2024. № 48. С. 11–99. DOI: 10.19074/1814-8654-2024-48-11-99 URL: <http://rrcn.ru/ru/archives/36097>

Ключевые слова: пернатые хищники, хищные птицы, беркут, *Aquila chrysaetos*, моделирование распространения видов, ветряные электростанции, ВЭС, CRM Band, Каратау, Казахстан.

Поступила в редакцию: 20.11.2024 г. **Принята к публикации:** 25.12.2024 г.

Алёна Каптёнкина
Институт зоологии
Министерства образо-
вания и науки РК
050060, Казахстан
Алматы,
пр. аль-Фараби 93
тел.: +7 702 57 32 478
alyonakaptyonkina@
gmail.com

Contact:

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

Kirill Knizhov
tel.: +7 777 084 22 83
kirillknizhov@gmail.com

Elvira Nikolenko
tel.: +7 923 150 12 79
elvira_nikolenko@mail.ru

Elena Shnayder
tel.: +7 913 795 65 49
equ001@gmail.com

Genriyetta Pulikova
Biodiversity Research
and Conservation Center
Community Trust
Kunayev str., 12/1, 420
office, Astana, Kazakhstan
Z05H9B0
tel.: +7 702 768 40 00
genriyetta.pulikova@
gmail.com

Alyona Kaptyonkina
Institute of Zoology of the
Republic of Kazakhstan
al-Farabi Ave. 93, Almaty,
Kazakhstan 050060
tel.: +7 702 57 32 478
alyonakaptyonkina@
gmail.com

Abstract

The Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) is the largest eagle in Kazakhstan, breeding in almost all mountainous and forested areas of the country. In Karatau and the Chu-Ili Mountains, there are large breeding groups of this species, which have been threatened by the development of a network of wind power plants (WPPs) since 2021 since both of these breeding groups are concentrated in powerful wind corridors that are promising for wind energy generation. During the work, we modelled the distribution of the Golden Eagle in Karatau and the Chu-Ili Mountains using the Random Forest image classification method, calculated its numbers in this area and assessed the threats to its breeding groups from both existing and prospective WPPs. The area of breeding biotopes for the Golden Eagle is 18209.9 km², and the area of habitats is 67602.43 km². The Golden Eagle population in Karatau as of 2024 is estimated at 434–645, on average 466 breeding pairs (80 breeding territories are known), and 1126–1674, an average of 1209 ind., taking into account fledglings of the current year and immature eagles, in the Chu-Ili Mountains – at 163–292, on average 222 breeding pairs (40 breeding territories is known), and 422–757, on average 575 ind. The number of Golden Eagles migrating through Karatau is estimated at 7276–11423, with an average of 8386 ind. In the zone of influence of the Zhanatas and Shokpar windfarms, which has a radius of 4.5 km, three pairs of breeding Golden Eagles disappeared over 3 years. Some of the birds from the disbanded pairs died due to collisions with the blades of wind turbines, which is confirmed by the remains of 2 Golden Eagles under the turbines. Based on calculations in the CRM “Band”, a risk map with a cell step of 5 km was created, representing an assessment of the probable mortality of eagles during the construction of wind farms in these cells. The results of this study apply to the conservation planning efforts of the Golden Eagle, analysing the risks of developing not only wind energy but also other land uses, including mining and even recreation, and implementing compensatory measures for human intervention in the Golden Eagle's habitat.

Recommended citation: Karyakin I.V., Knizhov K.I., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Pulikova G.I., Kaptyonkina A.G. Golden Eagle in Karatau and Chu-Ili Mountains (Kazakhstan) and Assessment of Risks to its Populations from Developing Wind Energy. – Raptors Conservation. 2024. 48: 11–99. DOI: 10.19074/1814-8654-2024-48-11-99 URL: <http://rrcn.ru/en/archives/36097>

Keywords: raptors, birds of prey, Golden Eagle, *Aquila chrysaetos*, species distribution modeling, SDM, wind farms, wind power plants, CRM Band, Karatau, Chu-Ili mountains, Kazakhstan.

Received: 20/11/2024. **Accepted:** 25/12/2024.

DOI: 10.19074/1814-8654-2024-48-11-99

Введение

Беркут (*Aquila chrysaetos*) – самый крупный из гнездящихся орлов Казахстана, внесён в Красную книгу Казахстана в категории III как «редкая птица с сокращающейся численностью» (Березовиков, 2010). В ряде мест Тянь-Шаня считался сравнительно обычным, гнездовые группировки беркута были выявлены в Таласском Алатау и на северной оконечности Чу-Илийских гор, но при этом весь Каратау в Красной книге Казахстана был исключён из гнездового ареала вида (Березовиков, 2010), хотя его гнездование и присутствие в гнездовой период здесь описано несколькими исследователями (Корелов, 1962; Губин, Карпов, 2000; Колбинцев, 2004). А.Ф. Ковшарь (2019) в своей фундаментальной сводке по птицам Тянь-Шаня исправил эту ошибку, включив весь Каратау в гнездовой ареал беркута, написав, что «в Тянь-Шане беркут гнездится почти повсеместно» и «отсутствие на карте обозначений встреч в некоторых внутренних и южных районах – всего лишь недостаток данных о местах, в которых редко бывали орнитологи». Численность беркута, как в западных отрогах Тянь-Шаня, так и во всём Казахстане, оставалась неизвестной до последнего времени (Березовиков, 2010; Ковшарь, 2019), но, по мнению А.Ф. Ковшаря (2019), в целом по Тянь-Шаню она достаточно высокая.

Целый ряд исследований указывает на то, что беркут уязвим к развитию ветроэ-



Беркут (*Aquila chrysaetos*). Фото И. Карякина.

Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*). Photo by I. Karyakin.

Introduction

The Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*, further GE) is the largest of the breeding eagles of Kazakhstan, listed in the Red Data Book of Kazakhstan in category III as a “rare bird with declining population numbers” (Berezovikov, 2010). In Tien Shan, considered ordinary,

нергетики. Этот крупный орёл, во-первых, погибает в результате столкновения с лопастями турбин ветроэлектростанций (ВЭС), во-вторых, покидает местообитания, застраиваемые турбинами (Hunt *et al.*, 1995; 1997; 2017; Hodos, 2003; Walker *et al.*, 2005; Smallwood, Thelander, 2005; 2008; Tapia *et al.*, 2009; Katzner *et al.*, 2012a; 2015; 2016; 2020; Pagel *et al.*, 2013; Johnston *et al.*, 2013; 2014a; New *et al.*, 2015; Watson *et al.*, 2018; Fielding *et al.*, 2021; 2022). В то же время, в Казахстане ветроэнергетика развивается достаточно быстрыми темпами, и если в 2014 г. производство ветровой энергии в стране составляло 0,01 ТВт/ч, то в 2023 г. это уже 3,93 ТВт/ч (Ritchie *et al.*, 2024). В настоящее время в Казахстане действует 59 ВЭС общей мощностью 1409,55 МВт (QazaqGreen, 2024), в том числе 2 особо опасных для птиц ВЭС, построенные в горах Каратау, – Жанатасская и «Шокпар» (Карякин и др., 2021; Карякин, 2023). На стадии проектирования находится ВЭС в Чу-Илийских горах близ п. Мирный, мощность которой составит 50% от общего объёма всех объектов ВИЭ, введённых в эксплуатацию в Казахстане к 2023 г. (QazaqGreen, 2023). Также Abu Dhabi Future Energy Company PJSC – Masdar и Министерство энергетики Республики Казахстан подписали соглашение о разработке проекта ВЭС мощностью 1 ГВт на Каратау в Жамбылской области (Juru, 2024; KEGOC, 2024). Совокупное влияние этих ВЭС на популяцию беркута неизвестно. Оно может оказаться негативным при дальнейшем развитии сети ВЭС в Каратау и Чу-Илийских горах, если будет происходить по аналогии с Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар», при проектировании которых были полностью проигнорированы риски для беркута и других редких видов, а птицепроштитные мероприятия не предусмотрены и не реализованы.

Чтобы понять распространение и численность беркута в Каратау и Чу-Илийских горах, оценить влияние существующих, проектируемых и гипотетических ВЭС на его популяцию и спрогнозировать возможный ущерб от дальнейшего развития ветроэнергетики в рассматриваемом регионе, мы провели целевые исследования в 2022–2024 гг. По результатам этих исследований подготовлена настоящая статья.

Методика исследований

Для понимания прежнего распространения беркута в Каратау и Чу-Илийских горах мы провели поиск статей, содер-

breeding groups of the further GE were identified in the Talas Alatau and at the northern end of the Chu-Ili Mountains. Still, in the Red Data Book of Kazakhstan, the entire Karatau was excluded from the nesting range of the species (Berezovikov, 2010), although its nesting and presence in the nesting period here are followed by several researchers (Korelov, 1962; Gubin, Karpov, 2000; Kolbintsev, 2004). A.F. Kovshar (2019), in his fundamental summary of the Tien Shan bird, corrected the error, included the whole of Karatau in the nesting range of the GE, writing that “in the Tien Shan, the GE nests almost everywhere” and “the absence on the map of designated meetings in some internal and southern regions is just a lack of data from places that ornithologists have rarely visited”. The number of GEs, both in the western spurs of the Tien Shan and in all of Kazakhstan, remains unknown until recently (Berezovikov, 2010; Kovshar, 2019), but, according to A.F. Kovshar (2019), in general, in the Tien Shan, it is pretty high.

Several studies indicate that GE is vulnerable to wind energy development. This large eagle, firstly, dies as a result of collisions with the blades of wind turbines on the wind power stations (WPPs), and secondly, leaves habitats on which the turbines are built (Hunt *et al.*, 1995; 1997; 2017; Hodos, 2003; Walker *et al.*, 2005; Smallwood, Thelander, 2005; 2008; Tapia *et al.*, 2009; Katzner *et al.*, 2012a; 2015; 2016; 2020; Pagel *et al.*, 2013; Johnston *et al.*, 2013; 2014a; New *et al.*, 2015; Watson *et al.*, 2018; Fielding *et al.*, 2021; 2022). At the same time, wind energy is developing reasonably rapidly in Kazakhstan. In 2014, wind energy production in the country was 0.01 TWh, and in 2023, it was already 3.93 TWh (Ritchie *et al.*, 2024). Currently, there are 59 WPPs with a total capacity of 1,409.55 MW operating in Kazakhstan (QazaqGreen, 2024), including two WPPs that are especially dangerous for birds, built in the Karatau Mountains – Zhanatas and Shokpar (Karyakin *et al.*, 2021; Karyakin, 2023). A WPP in the Chu-Ili Mountains near the village of Mirny is at the design stage, the capacity of which will be 50% of the total volume of all renewable energy facilities commissioned in Kazakhstan by 2023 (QazaqGreen, 2023). Also, Abu Dhabi Future Energy Company PJSC – Masdar and the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan signed an agreement to develop a 1 GW wind farm project in Karatau in the Zhambyl region (Juru, 2024; KEGOC, 2024). The cumulative impact of these wind farms on the golden eagle population is un-

жащих ключевые слова «беркут» + *Aquila chrysaetos* + «Каратау» + «Чу-Илийские горы», в базах данных цитирования научных статей, в Google Scholar и в открытых электронных библиотеках, таких как Электронная биологическая библиотека¹⁰, Фундаментальная электронная библиотека «Флора и фауна» А. Шипунова¹¹, в разделе «Публикации» на сайте Института зоологии Министерства образования и науки Республики Казахстан¹², а также в архиве публикаций Российской сети изучения и охраны пернатых хищников¹³. В итоге для рассматриваемой территории было собрано 102 наблюдения, список которых приводится в Приложении 1¹⁴.

Мы скачали набор данных из GBIF¹⁵ (GBIF.org, 2024), включающий 304 наблюдения из eBird (Auer et al., 2024), 92 наблюдения из раздела «Пернатые хищники Мира» веб-ГИС «Фаунистика» (Karyakin et al., 2020), 24 наблюдения из iNaturalist (iNaturalist, 2024), 6 наблюдений из Observation (Observation.org, 2024), по 5 наблюдений из Naturgucker (Naturgucker.de, 2024) и БД «Онлайн дневники наблюдений птиц» (Ukolov et al., 2019) и создали набор данных с сайта Kazakhstan Birdwatching Community¹⁶ в формате MS Excel, выбрав оттуда 87 наблюдений беркута на Каратау и в Чу-Илийских горах с прилегающими территориями за 2004–2024 гг. (Акимканова и др., 2022): оба набора данных в формате MS Excel доступны на сайте RRRCN в Приложении 1¹⁴.

Первые целевые исследования гнездовых группировок беркута в горах Каратау и на прилегающих территориях были проведены нами в 2005 и 2010 гг., в Чу-Илийских горах – в 2009–2010 гг. Полученные сведения были загружены в раздел «Пернатые хищники Мира»¹⁷ веб-ГИС «Фаунистика» Российской сети изучения и охраны пернатых хищников, откуда выведен набор данных в формате шейп-файла для дальнейшей обработки в ГИС. Большая часть этих сведений ранее нигде не публиковалась, лишь информация о гнездовых участках беркута в северо-западной части Каратау (оконечность Сырдарьинского Каратау), относящегося к бассейну р. Сарысу, была включена в публикацию по хищным птицам бассейна этой реки (Карякин и др., 2008) и в экспедиционные заметки 2005 г. (Карякин, Барабашин, 2006).

It may be harmful with further development of the wind farm network in Karatau and the Chu-Ili Mountains if it happens in the same way as in the Zhanatas and Shokpar wind farms, the design of which completely ignored the risks to the Golden Eagle and other rare species, and bird protection measures were not provided for or implemented.

Methods

To understand the previous distribution of the GE in Karatau and the Chu-Ili Mountains, we searched for articles containing the keywords “Golden Eagle” + *Aquila chrysaetos* + “Karatau” + “Chu-Ili Mountains” in scientific article citation databases, Google Scholar, and open electronic libraries such as the Electronic Biological Library¹⁰, the Fundamental Electronic Library “Flora and Fauna” of A. Shipunov¹¹, in the “Publications” section on the website of the Institute of Zoology of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan¹², and the archive of publications of the Russian Raptor Research and Conservation Network (RRRCN)¹³. As a result, 102 observations were collected for the considered territory, the list of which is given in Appendix 1¹⁴.

We downloaded a dataset from GBIF¹⁵ (GBIF.org, 2024), including 304 observations from eBird (Auer et al., 2024), 92 observations from the “Raptors of the World” section of the “Faunistics” web GIS (Karyakin et al., 2020), 24 observations from iNaturalist (iNaturalist, 2024), six observations from Observation (Observation.org, 2024), five observations each from Naturgucker (Naturgucker.de, 2024) and the Birds observations database from Russia (Ukolov et al., 2019) and created a dataset from the Kazakhstan Birdwatching Community website¹⁶ in MS Excel format, selecting 87 GE observations from there on Karatau and in the Chu-Ili Mountains with adjacent territories for 2004–2024 (Akimkanova et al., 2022): both data sets in MS Excel format are available on the RRRCN website in Appendix 1¹⁴.

The first targeted studies of the breeding groups of the GE in the Karatau Mountains and adjacent territories were conducted by us in 2005 and 2010, in the Chu-Ili Mountains – in 2009–2010. The obtained information was uploaded to the section “Birds of Prey of the World”¹⁷ of the web-GIS “Faunistics” of the RRRCN, where a data set was extracted in shapefile format for further processing in

¹⁰ <http://zoomet.ru>

¹¹ <http://herba.msu.ru/shipunov/school/sch-ru.htm>

¹² <http://zool.kz/eng/main-page>

¹³ <http://rrrcn.ru/ru/library>

¹⁴ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App1-gbif-birds-kz-AC.xls>

¹⁵ <http://www.gbif.org>

¹⁶ <http://kz.birding.day>

¹⁷ <http://rrrcn.wildlifemonitoring.ru>

В 2022–2024 гг. мы провели частичный мониторинг известных гнездовых участков беркута в Каратау, а в 2023–2024 гг. – в Чу-Илийских горах, а также обследовали ранее не посещавшиеся территории, чтобы уточнить детали распространения вида и его численность. Все собранные данные, как и ранее, были внесены в раздел «Пернатые хищники Мира»¹⁷ веб-ГИС «Фаунистика».

Полевые исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями по изучению пернатых хищников (Карякин, 2004) и детально описаны в статье о стервятнике (*Neophron percnopterus*) в Каратау (Карякин и др., 2022а), гнездящемся в схожих с беркутом условиях.

Координаты мест обнаружения птиц и их гнёзд определялись с помощью GPS/ГЛОНАС-навигаторов или в программе LocusMap¹⁸ на смартфонах. Информация о найденных птицах и гнёздах заносилась в ведомости учёта по установленной форме.

Как и в работе по стервятнику (Карякин и др., 2022а) гнездовая территория беркута считалась занятой, если наблюдалось присутствие пары птиц с гнездовым поведением (токовое поведение самца в присутствии самки, копуляция в гнездопригодном биотопе, приносы добычи в одно и то же место, защита территории). Гнёзда считались активными, если в них наблюдались насиживающие птицы, птенцы, яйца, остатки яичной скорлупы или птенцового пуха, либо они были подновлены и в гнезде имелся наседной пух. Успешными считались гнёзда, из которых успешно вылетел хотя бы 1 птенец. Но так как большая часть гнёзд проверялась только однократно в сезон размножения, то для целей данной статьи мы оперируем понятием успешное гнездо на момент проверки – это гнездо, в котором на момент проверки находился хотя бы один живой птенец или насиживаемая кладка. Покинутой гнездовой территорией считали участок, на котором обнаружено старое гнездо без признаков посещения птицами и на участке птицы не встречены.

Для работы по проекту были сформированы исследовательские группы (одна в 2005–2010 и 2023 гг. и две – в 2022, 2024 гг.), которые передвигались на автомобилях повышенной проходимости (УАЗ «Патриот» и Toyota Prado). Общая протяжённость автотрасс в зоне работы в 2005–2024 гг. составила 36198 км (рис. 1), в том

the GIS. Most of this information has not been published anywhere before, only information on the nesting sites of the Golden Eagle in the northwestern part of the Karatau (northwestern end of Syr Darya Karatau), which belongs to the Sarysu river basin was included in the publication on birds of prey in the basin of this river (Karyakin *et al.*, 2008) and in the expedition notes of 2005 (Karyakin, Barabashin, 2006).

In 2022–2024, we partially monitored known GE breeding territories in Karatau and in 2023–2024 – in the Chu-Ili Mountains. We also surveyed previously unvisited areas to clarify the details of the species distribution and its abundance. All collected data, as before, were entered into the section “Raptors of the World”¹⁷ of the web-GIS “Faunistics”.

Field studies were carried out according to the methodological recommendations for the study of raptors (Karyakin, 2004) and are described in detail in the article on the Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) in Karatau (Karyakin *et al.*, 2022a), which nests in conditions similar to the GE.

The coordinates of the locations of bird detection and their nests were determined using GPS/GLONASS navigators or in the LocusMap program¹⁸ on smartphones. Information about the birds and nests found was entered into records in the established form.

As in the work on the Egyptian Vulture (Karyakin *et al.*, 2022a), the breeding territory of the GE was considered occupied if the presence of a pair of birds with nesting behaviour was observed (lekking behaviour of the male in the presence of the female, copulation in a suitable nesting biotope, bringing prey to the same place, defending the territory). Nests were considered active if incubating birds, chicks, eggs, remains of eggshells, or nestlings were observed in them, or they were renewed, and there was a nestling's down in the nest. Nests were considered successful if at least one nestling successfully fledged from them. However, since most nests were checked only once during the breeding season, for this article, we use the concept of a successful nest at the time of inspection – this is a nest in which, at the time of inspection, there was at least one live nestling or incubating clutch. An abandoned breeding territory was considered where an old nest was found, with no signs of bird visits and no birds encountered.

Research groups were formed to work on the project (one in 2005–2010 and 2023,

¹⁸ <http://www.locusmap.app>

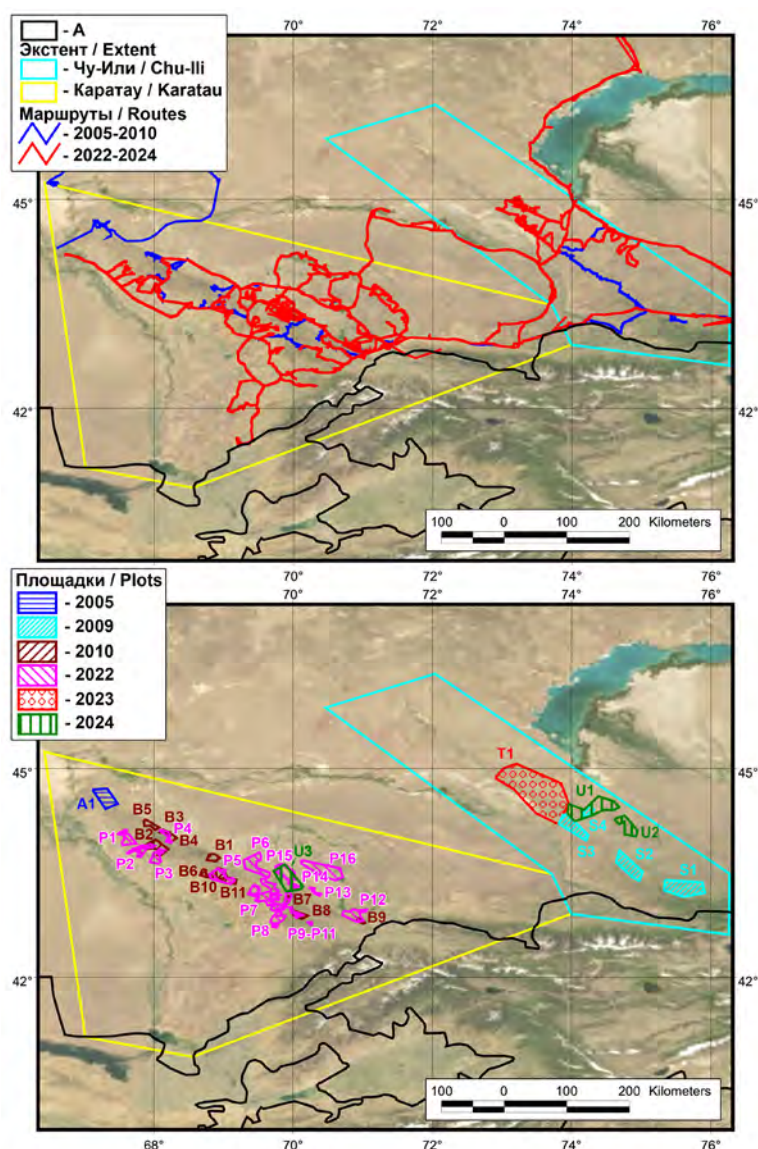


Рис. 1. Маршруты (вверху) и учётные площадки (внизу) в 2005–2024 гг. Нумерация площадок соответствует нумерации в табл. 6–7. Условные обозначения: А – границы стран.

Fig. 1. Field research routes (upper) and surveyed plots (bottom) in 2005–2024. Plots numbering corresponds to that in tables 6–7. Legends: A – borders of countries.

and two in 2022 and 2024), which travelled in off-road vehicles (UAZ Patriot and Toyota Prado). The total length of vehicle routes in the work area in 2005–2024 was 36,198 km (Fig. 1), including in the Karatau Mountains in 2005–2024 – 24,816 km (2005 – 312 km, 2010 – 2,180 km, 2022 – 7,933 km, 2023 – 1,231 km, 2024 – 1,348 km), in the Chu-Ili Mountains in 2009–2024 – 7,950 km (2009 – 510 km, 2010 – 489 km, 2022 – 1,357 km, 2023 – 2,830 km, 2024 – 2,764 km).

In 2005, a site was laid out at the northwest end of Karatau, 491.96 km². In 2010, 11 survey sites with a total area of 1,273.2 km² were established, and linear routes were drawn on six sections of cliffs in the northern foothills of Karatau, totalling 20.85 km. In 2022, 16 survey sites with a total area of 4,191.54 km² were established here, some of which partially overlapped with the 2010 sites. The overlap area was 521.72 km². In 2024, the survey area was expanded by another 391.78 km² by combining two sites surveyed in 2022 and the territory between them. Thus, the total accounting area (the overlapping territory of the sites is considered a single area) in Karatau by 2024 amounted to 5,823.03 km² (Fig. 1).

In 2009, 4 survey plots with a total area of 2,270.3 km² were established in the Chu-Ili Mountains. In 2010 and 2022, we visited one breeding territory of GEs. In 2023, the 4th new survey plot (3,959.2 km²) was surveyed in detail, and in 2024, the survey area was expanded by 115.9 km² by surveying the territory adjacent to one of the plots established in 2009. Thus, the total survey area (the overlapping territory of the plots is counted as a single one) in the Chu-Ili Mountains in 2024 was 7,514.81 km² (Fig. 1).

At the survey plots (the total survey area was 13,337.84 km²), we tried to minimise the omission of eagles and identify all GE nests located at the plots. Only at one site, including the Zhanatas wind farm and the Shokpar wind farm, in 2024, the routes were repeated three times per season from mid-April to the end of August to exclude the omission of breeding birds. Nevertheless, our calculations consider the number of GEs at the plots absolute de-

числе в горах Каратау в 2005–2024 гг. – 24816 км (2005 г. – 312 км, 2010 г. – 2180 км, 2022 г. – 7933 км, 2023 г. – 1231 км, 2024 г. – 1348 км), в Чу-Илийских горах в 2009–2024 гг. – 7950 км (2009 г. – 510 км, 2010 г. – 489 км, 2022 г. – 1357 км, 2023 г. – 2830 км, 2024 г. – 2764 км).

В Каратау в 2005 г. была заложена площадка на его северо-западной оконечности, площадь которой составила 491,96 км². В 2010 г. было заложено уже 11 учётных площадок общей площадью 1273,2 км² и линейные маршруты проведены на 6-ти участках чинков в северных предгорьях Каратау, общей протяжённостью 20,85 км. В 2022 г. здесь было заложено 16 учётных площадок общей площадью 4191,54 км², часть из которых частично перекрывалась с площадками 2010 г. Площадь перекрытия составила 521,72 км². В 2024 г. учётная площадь была расширена ещё на 391,78 км² за счёт объединения 2-х площадок, обследо-

ванных в 2022 г. и территории, лежащей между ними. Таким образом, общая учётная площадь (перекрывающаяся территория площадок учтена как единая) в Каратау к 2024 г. составила 5823,03 км² (рис. 1).

В Чу-Илийских горах в 2009 г. было заложено 4 учётных площадки общей площадью 2270,3 км². В 2010 и 2022 гг. мы посетили здесь по одному гнездовому участку беркутов. В 2023 г. была детально обследована 4-я новая учётная площадка (3959,2 км²), а в 2024 г. расширена на 115,9 км² учётная площадь за счёт обследования территории, прилегающей к одной из площадок, выделенных в 2009 г. Таким образом, общая учётная площадь (перекрывающаяся территория площадок учтена как единая) в Чу-Илийских горах в 2024 г. составила 7514,81 км² (рис. 1).

На учётных площадках (общая учётная площадь составила 13337,84 км²) мы старались минимизировать пропуски орлов и выявить все гнёзда беркута, располагавшиеся на площадках. Только на одной площадке, включающей Жанатасскую ВЭС и ВЭС «Шокпар» в 2024 г. маршруты повторялись трижды за сезон с середины апреля по конец августа, чтобы исключить пропуск гнездящихся птиц. Тем не менее, при расчётах мы считаем численность беркута на площадках абсолютной, несмотря на определённую вероятность пропуска гнездящихся пар.

Все измерения, за исключением азимута, проводились в ArcView GIS 3.3 ESRI в проекции Orthographic (Datum: WGS

spite a certain probability of missing breeding pairs.

All measurements, except for the azimuth, were carried out in ArcView GIS 3.3 ESRI in the Orthographic projection (Datum: WGS 84, Spheroid: Sphere, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 45).

The modelling of the species distribution was carried out in complete analogy with the work on the Egyptian Vulture (Karyakin *et al.*, 2022a).

To determine the preferences of the GE in choosing suitable biotopes and to model them, we determined environmental variables at the scale of the microenvironment – within a radius of 100 m around the nest, and the microenvironment – within a radius of 1 km around the nest.

To classify suitable breeding biotopes, we used regularly occupied active nests in the breeding territories of pairs and alternative nests in which breeding was observed in the past, located 500 m and further from active nests, to avoid pseudo-replication of parameters.

From the RRRCN database, we selected 234 points of GE presence, from which we excluded duplicates of repeated checks and encounters of single birds, leaving only nests and encounters of breeding pairs. We also excluded two nests whose accuracy was not high because they were discovered during an inspection of gorges with a telescope and were not visited. We included 155 GE presence points in the analysis, which describes 135 nests and 20 pair registrations in 118 different breeding

Типичные места
гнездования беркута
в Каратау (Боралдай) –
слева и Чу-Илийских
горах – справа.
Фото И. Карякина.

Typical nesting sites
of the Golden Eagle
in Karatau Mountains
(Boraldai) – on the
left and the Chu-Ili
Mountains – on the right.
Photos by I. Karyakin.



84, Spheroid: Sphere, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 45).

Моделирование распространения вида проводилось по полной аналогии с работой по стервятнику (Карякин и др., 2022а).

Для определения предпочтений беркута в выборе гнездопригодных биотопов и для их моделирования мы определили переменные окружающей среды в масштабе микро-среды – в радиусе 100 м вокруг гнезда, и макросреды – в радиусе 1 км вокруг гнезда.

Для классификации гнездопригодных биотопов мы использовали не только регулярно занимаемые активные гнёзда на гнездовых территориях пар, но и альтернативные гнёзда, в которых размножение наблюдалось в прошлом, но которые удалены на 500 м и далее от активных гнёзд, чтобы избежать псевдорепликации параметров.

Из базы данных RRRCN нами были отобраны 234 точки присутствия беркута, из которых мы исключили дубли повторных проверок и встречи одиночных птиц, оставив только гнёзда и встречи гнездящихся пар. Также мы исключили 2 гнезда, точность привязки которых была невысокой, из-за того, что они были обнаружены при осмотре ущелий в трубу и не посещались. Мы включили в анализ 155 точек присутствия беркута, которые описывают 135 гнёзд и 20 регистраций пар на 118 различных гнездовых участках в Каратау (97 точек на 78 участках) и Чу-Илийских горах (55 точек на 40 участках).

Параметры биотопов для точек присутствия беркута сравнивались с аналогичным числом случайных точек, сгенерированных в границах минимальных конвексных полигонов, построенных по точкам присутствия беркута в Каратау и Чу-Илийских горах соответственно.

Для создания системы случайных точек и определения дистанций между ближайшими соседями использованы расширения Random point generator и Nearest Features v. 3.8b (Jenness, 2004; 2005).

Переменные были проверены на статистическую нормальность с использованием критерия Лиллиефорса. Средние значения переменных окружающей среды для точек присутствия беркута и случайных точек сравнивались с использованием *t*-критерия. Также, чтобы понять насколько серьёзные биотопические различия между гнездовыми группировками беркутов в Каратау и Чу-Илийских горах, с использованием *t*-критерия мы сравнили средние значения пространственных и климатических переменных точек присутствия беркута для обоих горных массивов. На основе сравнения



Типичный гнездовой биотоп беркута в Чу-Илийских горах. Фото И. Карякина.

Typical breeding biotope of the Golden Eagle in the Chu-Ili Mountains. Photo by I. Karyakin.

territories in Karatau (97 points in 78 sites) and the Chu-Ili Mountains (55 points in 40 sites).

Biotope parameters for GE presence points were compared with a similar number of random points generated within the boundaries of minimum convex polygons constructed from GE presence points in Karatau and the Chu-Ili Mountains, respectively.

To create a system of random points and determine distances between nearest neighbours, the Random point generator and Nearest Features v. 3.8b extensions (Jenness, 2004; 2005) were used.

Variables were tested for statistical normality using the Lilliefors test. Average values of environmental variables for GE presence points, and random points were compared using the *t*-test. Also, to understand how significant the topic differences are between golden eagle nesting groups in the Karatau and Chu-Ili Mountains, we compared average values of spatial and climatic variables of GE presence points for both mountain ranges using the *t*-test. Based on the comparison, a decision was made to model the species distribution to a single extent without dividing it into two fragments.

To describe the features of suitable breeding biotopes at the micro- and macroenvironmental levels, 58 explanatory variables obtained from earth remote sensing (ERS) products were used: NASADEM (NASA JPL, 2020), MOD13A1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 500m (Didan, 2021),

было принято решение о моделировании распространения вида в целом экстенде без разделения на два фрагмента.

Для описания признаков гнездопригодных биотопов на уровне микро- и макросреды использованы 58 объясняющих переменных, полученных из продуктов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ): NASADEM (NASA JPL, 2020), MOD13A1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 500m (Didan, 2021), Geomorpho90m (Amatulli *et al.*, 2020), Global Habitat Heterogeneity (Tuanmu, Jetz, 2015), Global Wind Atlas (Badger *et al.*, 2021), World Clim (Fick, Hijmans, 2017), ESA WorldCover 10m v100 (Zanaga *et al.*, 2021) (Приложение 2¹⁹).

Изучив взаимосвязи переменных с помощью коэффициента корреляции Спирмена (r)²⁰, чтобы избавиться от мультиколлинеарности, мы отбросили наименее значимые переменные для базовой модели, коэффициент (r) корреляции в парах которых был $>0,75$. В итоге для анализа мы сформировали наборы для 3 моделей, отличающихся представленностью в них коррелирующих и важных по данным t -критерия переменных (количество переменных в моделях см. в разделе «Результаты исследований»).

Чтобы проверить, не зависят ли от географического расстояния между локациями предсказанные значения модели, и исключить пространственную автокорреляцию, был использован тест Морана (R-функция «*moran.test*» в пакете «*spdep*») (Griffith, Peres-Neto, 2006; Dormann *et al.*, 2007). Визуализация результатов теста осуществлена в соответствии с рекомендациями Т.Е. Самсонова (2021).

Моделирование распространения и численности осуществлялось в программе BioDiv²¹, использующей Google Earth Engine (GEE)²². Краткое описание первой версии программы дано в отдельной публикации (см. Карякин, Книжов, 2023).

Для классификации изображений использовался Random Forest, который в последнее время является широко используемым методом моделирования распределения видов (Zhang *et al.*, 2019).

В соответствии с рекомендациями (Brotons *et al.*, 2004) были подготовлены наборы данных отсутствия беркута и вместе с данными об их присутствии (точки гнёзд), импортированы в BioDiv²¹. Набор растров данных дистанционного зондирования

Geomorpho90m (Amatulli *et al.*, 2020), Global Habitat Heterogeneity (Tuanmu, Jetz, 2015), Global Wind Atlas (Badger *et al.*, 2021), World Clim (Fick, Hijmans, 2017), ESA WorldCover 10m v100 (Zanaga *et al.*, 2021) (Appendix 2¹⁹).

Having studied the interrelations of variables using the Spearman correlation coefficient (r)²⁰ to eliminate multicollinearity, we discarded the least significant variables for the basic model, the correlation coefficient (r) in pairs of which was >0.75 . As a result, for the analysis, we formed sets for three models that differed in representing correlated and essential variables according to the t -criterion data (see the section “Research Results” for the number of variables in the models).

To check whether the predicted values of the model do not depend on the geographic distance between locations and to exclude spatial autocorrelation, the Moran test (R function “*moran.test*” in the “*spdep*” package) was used (Griffith, Peres-Neto, 2006; Dormann *et al.*, 2007). The test results were visualised by the recommendations of T.E. Samsonov (2021).

Distribution and abundance modelling was carried out in the BioDiv²¹ program using Google Earth Engine (GEE)²². A brief description of the first version of the program is given in a separate publication (see Karyakin, Knizhov, 2023).

Random Forest was used to classify images, which has recently become widely used for modelling species distribution (Zhang *et al.*, 2019).

Following recommendations (Brotons *et al.*, 2004), GE absence datasets were prepared and imported into BioDiv²¹ along with presence data (breeding points). The remote sensing dataset was fitted and classified according to a previously proposed workflow algorithm for fitting species distribution models (Crego *et al.*, 2022).

We split the GE location data into training (80%) and testing (20%) sets, implementing a spatial block cross-validation method to split the training and testing data (Roberts *et al.*, 2017; Valavi *et al.*, 2019; Crego *et al.*, 2022). The analysis was run for 20 iterations with random block splits.

The accuracy of the models was assessed based on validation for each iteration of model fitting using AUC-ROC (Fielding, Bell, 1997; Fawcett, 2006) controlled by R^2 and Kappa (Brownlee, 2016; Zhang *et al.*, 2021).

The extent of the analysis was limited by the following coordinates: 1 – N 45.2402 E 66.43011,

¹⁹ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App2-Variables-AC.xls>

²⁰ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/collinearityAC.png>

²¹ <http://gis.eaglesofthepalearctic.org>

²² <http://earthengine.google.com>

Земли был подобран и классифицирован согласно ранее предложенному алгоритму рабочего процесса подбора моделей пространства видов (Crego *et al.*, 2022).

Мы разделили данные о местоположении беркутов на наборы для обучения (80%) и тестирования (20%), внедрив метод перекрестной проверки пространственных блоков для разделения данных для обучения и проверки модели (Roberts *et al.*, 2017; Valavi *et al.*, 2019; Crego *et al.*, 2022). В ходе анализа было запущено 20 итераций со случайным разделением блоков.

Точность моделей оценивалась на основе проверки для каждой итерации подбора модели посредством AUC-ROC (Fielding, Bell, 1997; Fawcett, 2006) с контролем по R^2 и Кappa (Brownlee, 2016; Zhang *et al.*, 2021).

Экстент анализа был ограничен следующими координатами: 1 – N 45.2402 E 66.43011, 2 – N 43.47967 E 73.71789, 3 – N 45.87371 E 70.46561, 4 – N 46.36155 E 72.03755, 5 – N 43.4887 E 76.26551, 6 – N 42.61239 E 76.25647, 7 – N 42.9095 E 73.99664, 8 – N 40.85344 E 68.55528, 9 – N 41.13984 E 67.01459.

В результате была построена карта гнездопригодных для беркута биотопов, которая в виде растра с пикселями, ранжированными по вероятности присутствия, экспортирована в формате Geotiff. Растр векторизован в ArcView в формат шейп-файла. К гнездопригодным биотопам отнесены пиксели с вероятностью присутствия вида более 50%.

Для создания карты общей площади местообитаний вокруг пикселей с вероятностью присутствия вида более 50% построены буферы с радиусом, равным половине средней дистанции между ближайшими соседями.

Экстраполяцию численности беркута мы осуществляли двумя методами:

1 – прямой пересчёт средневзвешенного показателя плотности с площадок (с учётом площадок, на которых беркут не встречен) на площадь местообитаний (Карякин, 2004) с расчётом несимметричного доверительного интервала (Равкин, Челинцев, 1990);

2 – метод генерации случайных точек по заданному диапазону дистанций между ближайшими соседями на основе регулярной сети (далее ГСЧ). Подробное описание метода изложено ранее (см. Карякин и др., 2022a).

Валидацию паттерна сгенерированных точек осуществляли двумя способами по нижеописанному принципу. Сначала формировали набор валидационных площадок.

2 – N 43.47967 E 73.71789, 3 – N 45.87371 E 70.46561, 4 – N 46.36155 E 72.03755, 5 – N 43.4887 E 76.26551, 6 – N 42.61239 E 76.25647, 7 – N 42.9095 E 73.99664, 8 – N 40.85344 E 68.55528, 9 – N 41.13984 E 67.01459. As a result, a map of habitats suitable for the GE was constructed, which was exported in Geotiff format as a raster with pixels ranked by probability of presence. The raster was vectorised in ArcView into a shapefile format. Pixels with a probability of presence of the species of more than 50% were classified as breeding biotopes.

To create a map of the total area of habitats around pixels with a probability of the presence of more than 50% of species, buffers with a radius equal to half the average distance between the nearest neighbours were constructed.

We extrapolated the GE population numbers using two methods:

1 – direct recalculation of the average weighted density indicator from the sites (taking into account the sites where the GE was not encountered) to the area of habitats (Karyakin, 2004) with the calculation of the asymmetric confidence interval (Ravkin, Chelintsev, 1990);

2 – a method for generating random points for a given range of distances between the nearest neighbours based on a regular network (hereinafter RPG). A detailed description of the method is presented earlier (see Karyakin *et al.*, 2022a).

The generated point pattern was validated in two ways according to the principle described below. First, a set of validation plots was formed. Then, this set was randomly divided into training and testing in a ratio of 80% to 20%. All points lying in a more extensive set were selected as a training set of points, and the verification algorithm was run for them, after which the number of hits in the test set of validation sites was compared with the actual number of GE presence points in these plots. The iteration was repeated 100 times. The minimum, maximum and average values of the number $\pm SD$, validation error and confidence interval were calculated for all iterations. In the first method, each validation site corresponded to the counting plots (see Fig. 1). In the second method, all surveyed areas were divided by GE presence points into Thiessen polygons, which were selected as validation plots.

Based on the results of the RPG population estimation module, we formed 4 layers of points: with the maximum, minimum and average number of points, as well as sets of points with minimal errors in validation by Thiessen polygons and by counting plots. The

Затем случайным образом разбивали этот набор на тренировочный и тестовый, в соотношении 80% к 20%. В качестве тренировочного набора точек выбирали все точки, лежащие в большем наборе и запускали для них алгоритм проверки, после чего сравнивали количество попаданий в тестовый набор валидационных площадок с реальным числом точек присутствия беркута на этих площадках. Итерация повторялась 100 раз. По всем итерациям рассчитывалась минимальное, максимальное и среднее значение численности $\pm SD$, ошибка валидации и доверительный интервал. В первом способе каждая из валидационных площадок соответствовала учётным площадкам (см. рис. 1). Во втором способе все обследованные области разбивались по точкам присутствия беркута на полигоны Тиссена, которые выбирались в качестве валидационных площадок.

По результату работы модуля оценки численности методом ГСЧ мы сформировали 4 слоя точек: с максимальным, минимальным и средним количеством точек, а также наборы точек с минимальными погрешностями в валидации по полигонам Тиссена и по площадкам.

Параметры корректировки сгенерированного слоя точек для получения итогового покрытия, лёгшего в основу итоговой оценки численности, описаны в результатах исследования (см. ниже).

Верификацию итогового покрытия точек осуществляли по точкам присутствия беркута из баз данных RRRCN, GBIF и из набора данных с сайта Kazakhstan Birdwatching Community. Потенциальный участок считали подтверждённым, если сгенерированная точка попадала в известный гнездовой участок беркута (на котором найдено гнездо или встречена пара птиц), либо в зоне сплошного покрытия гнездопригодными биотопами в радиусе 4-х км от сгенерированной точки или в изолированном гнездопригодном биотопе в радиусе 15 км от сгенерированной точки имелись визуальные наблюдения беркута в гнездовой период в одной из вышеуказанных баз данных.

Для оценки влияния ВЭС на беркутов в 2024 г. мы провели мониторинг гнездовых участков орлов в радиусе 45 км вокруг Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар». Также мы произвели поиск останков погибших птиц под ближайшими к гнёздам беркутов 10 турбинами (из 50). Поиск осуществлялся в сентябре. Радиус поиска составил 100 м от каждой из осмотренных турбин. В ходе

parameters for adjusting the generated layer of points to obtain the final coverage, which formed the basis for the final population numbers estimate, are described in the research results (see below).

The final coverage of points remains was verified based on the GE presence points from the RRRCN and GBIF databases and the Kazakhstan Birdwatching Community website dataset. A potential site was considered confirmed if the generated point fell into a known GE breeding territory (where a nest was found or a pair of birds was encountered) or in the zone of continuous coverage of breeding biotopes within a 4 km radius from the generated point or in an isolated breeding biotope where within a 15 km radius from the generated point there were visual observations of the GE during the breeding period in one of the above databases.

To assess the impact of the wind farm on GEs in 2024, we monitored the eagles' breeding territories within a 45 km radius around the Zhanatas and Shokpar wind farms. We also searched for the remains of dead birds under 10 turbines (out of 50) closest to the GE nests. The search was carried out in September. The search radius was 100 m from each of the inspected turbines. During a circular walk around the area from the turbine, with each circle 25 m away, all birds' bones and feathers were recorded.

To assess the risk of wind farm development for the GE population in the study area, we divided it into 5×5 km cells. For each cell,



Беркут на присаде рядом с гнездом. Каратау, 26.07.2022. Фото И. Карякина.

Golden Eagle perching near its nest. Karatau, 26/07/2022. Photo by I. Karyakin.

кругового обхода территории от турбины с удалением каждого круга на 25 м фиксировались все костно-перьевые останки птиц.

С целью оценки риска развития сети ВЭС для популяции беркута на исследуемой территории мы разделили её на ячейки 5×5 км. Для каждой ячейки мы определили численность орлов, суммировав количество взрослых птиц, слётков, неполовозрелых птиц и мигрантов для каждого месяца года, и произвели расчёты риска столкновения орлов с лопастями турбин ВЭС, используя CRM «Band» (Band, 2000; Band *et al.*, 2007), дополнительно учитывающую высоту полёта птиц (Johnston *et al.*, 2014b) и вероятность уклонения орлов от столкновений (Madders, Whitfield, 2006; Whitfield, 2009; May *et al.*, 2011; Johnston *et al.*, 2014a).

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

Для получения информации о направлении, высоте полёта беркутов и расчёта времени, которое беркуты проводят в полёте на гнездовых участках на высотах ЗДР, в 2022 (с 21 по 29 сентября) и в 2024 г. (с 24 марта по 5 ноября) были проведены визуальные наблюдения за орлами на 5 гнездовых участках (3 в 2022 г. и 3 в 2024 г., один из которых был общий в 2022 и 2024 гг.) в течение 546 часов. Наблюдательные пункты находились на дистанциях 2,0–3,6, в среднем ($n=5$) $2,7 \pm 0,6$ км от занятых гнёзд орлов, чтобы не искажать активность орлов присутствием людей вблизи их гнёзд. Также мы провели 807 часов наблюдений за перемещениями птиц в горах Каратау: с 21 по 29 сентября 2022 г. – на 10 точках, включая 3 точки на Жанатасской ВЭС (144 часа), 13–14 апреля 2023 г. – на 2 точках (12 часов), 24 марта – 30 октября 2024 г. – на 6 точках, включая 3 точки на Жанатасской ВЭС (651 час). Эти точки наблюдения находились далее 5 км от занятых гнёзд беркута. В ходе наблюдений на точках отмечались все регистрации беркутов, записывалось время и высота полёта птиц,



Беркут. Фото И. Карякина.
Golden Eagle. Photo by I. Karyakin.

we determined the number of eagles by summing the number of adults, fledglings, immatures, and migrants for each month of the year and calculated the risk of eagle collisions with wind farm turbine blades using the Band CRM (Band, 2000; Band *et al.*, 2007), which additionally takes into account the flight altitude of birds (Johnston *et al.*, 2014b) and the probability of eagle avoidance of collisions (Madders, Whitfield, 2006; Whitfield, 2009; May *et al.*, 2011; Johnston *et al.*, 2014a).

The risk assessment in the Band CRM is based on the probability of a bird striking the rotor blades, considering that the birds pass through the rotor movement zone (RSZ). The model considers the expected number of birds flying through the RSZ during a specific time (number of bird strikes per year = 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, as well as the birds' morphology, speed and flight behaviour (flapping or soaring). The empirical part is based on field observations of birds.

To obtain information on the direction and altitude of golden eagles' flights and to calculate the time that GE's spend in flight on nesting sites at RSZ altitudes, visual observations of eagles were conducted in 2022 (from September 21 to 29) and 2024 (from March 24 to November 5) at five breeding territories (3 in 2022 and 3 in 2024, one of which was common in 2022 and 2024) for 546 hours. Vantage points were located at distances of 2.0–3.6, on average ($n=5$) 2.7 ± 0.6 km from occupied eagle nests, so as not to distort the activity of eagles by the presence of people near their nests. We also conducted 807 hours of bird movement observations in the Karatau Mountains from September 21 to 29, 2022 – at 10

согласно методическим рекомендациям Scottish Natural Heritage, 2017., с той лишь разницей, что в 2022 г. наблюдения велись на каждой точке в течение всего светового дня, в 2023 г. – по 6 часов с 11:00 до 17:00, а в 2024 г. – по 3 часа один раз в сутки через сутки. Дистанции до орлов определялись с помощью биноклей с лазерными дальномерами Leica Geovid 15×56 HD-R, Bushnell Fusion 1 Mile Arc 12×50v, Sturman 10×42 LRF, 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). Высоту рассчитывали по формуле тангенса острого угла в прямоугольном треугольнике или прямыми измерениями с помощью лазерных дальномеров для птиц, пролетавших над головой. Скорость полёта определялась по расстоянию между локациями в секторе наблюдения, который был фиксированным радиусом 2 км на точках наблюдения за пределами гнездовых участков беркутов и варьировал от 2 до 4,5 км на гнездовых участках. По вектору, построенному между последовательными локациями птиц, определялось направление движения. Азимут определялся в проекции Lambert Conformal Conic (Datum: WGS 84, Spheroid: Krasovsky, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 0, Standard Parallel 1–2: 28–42) (Snyder, Voxland, 1989).

По совокупности наблюдений мы рассчитали время, которые беркуты проводят в полёте, суточную активность (частоту полётов в часовые интервалы в течение суток по местному времени), скорость полёта и высоту полёта птиц для определённого градиента высот местности.

Параметры турбин для расчёта рисков в CRM «Band» взяты из технической документации абстрактной модели Envision 2,5 MBT EN 121/2.5 (Goldwind GW 121/2500, 2017): высота башни – 90 м, длина лопастей – 59,5 м, диаметр ротора турбины – 121 м, радиус – 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 для ячейки 5×5 км, посчитанная для 2-х рядов турбин, отстоящих на 2 км (по 11 турбин в каждом ряду), составила 252978 м², в соответствии с параметрами Жанатасской ВЭС (расчёт сделан по космоснимкам в Google Earth).

Детали расчётов для модели взяты из публикации Карякин и др., 2021:

vantage points, including three vantage points at the Zhanatas Wind Farm (144 hours), April 13–14, 2023 – at 2 points (12 hours), March 24 – October 30, 2024 – at 6 points, including three vantage points at the Zhanatas Wind Farm (651 hours). These vantage points were located further than 5 km from occupied GE nests. During the observations, all GE observations were noted. The time and altitude of the birds' flights were recorded according to the methodological recommendations of Scottish Natural Heritage, 2017, with the only difference being that in 2022, observations were carried out at each vantage point throughout the daylight hours, in 2023 – for 6 hours from 11:00 to 17:00, and in 2024 – for 3 hours once a day every other day. Distances to eagles were determined using binoculars with laser rangefinders Leica Geovid 15×56 HD-R, Bushnell Fusion 1 Mile Arc 12×50v, Sturman 10×42 LRF, 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 (Geydarov, 2011; Gromazin *et al.*, 2014). The altitude was calculated using the formula for the tangent of an acute angle in a right triangle or by direct measurements using laser rangefinders for birds flying overhead. Flight speed was determined by the distance between locations in the observation sector, a fixed radius of 2 km at vantage points outside the breeding territories of GEs and varied from 2 to 4.5 km in the breeding territories. The direction of movement was determined using a vector constructed between successive bird locations. The azimuth was defined in the Lambert Conformal Conic projection (Datum: WGS 84, Spheroid: Krasovsky, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 0, Standard Parallel 1–2: 28–42) (Snyder, Voxland, 1989).

Based on the totality of observations, we calculated the time that GEs spend in flight, daily activity (frequency of flights in hourly intervals during the day according to local time), flight speed and flight altitude of birds for a certain gradient of terrain elevations.

The turbine parameters for risk calculation in the CRM “Band” are taken from the technical documentation of the abstract model Envision 2.5 MW EN 121/2.5 (Goldwind GW 121/2500, 2017): tower height – 90 m, blade length – 59.5 m, turbine rotor diameter – 121 m, radius – 60.5 m, rotor area – 11595 m², rotation speed – no more than 13.5 rpm, design wind speed – 9.3 m/s (operating range – 2.8–22.0 m/s). The total frontal area of all wind farm rotors for a 5×5 km cell, calculated for two rows of turbines spaced 2 km apart (11 turbines in

1. Зона А ВЭС была определена как полигон, построенный вокруг крайних турбин и составила 10 км² для каждой ячейки 5×5 км.

2. Время полёта T рассчитывалось путём умножения количества дней на среднюю продолжительность дня для каждого сезона. Продолжительность дня была определена как количество часов между восходом и заходом солнца для широты каждой ячейки в диапазоне от 40,85 до 46,53° согласно модели Forsythe *et al.*, 1995.

3. Численность птиц n для каждого сезона оценивалась в границах ВЭС. Это количество присутствующих птиц, умноженное на время, проведенное 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 $V_r = N \times \pi R^2 \times L$, где N – количество ветряных турбин (=40), R – длина ротора (=60,5 м), L – длина тела птицы. Длина тела птицы определена как средний показатель между самцами и самками для беркута в 0,85 м (Карякин, 2004).

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

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 : $n \times (V_r / V_w) / t$.

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: 0,85 м (см. п. 5);
- размах крыльев птицы: определён как средний показатель между самцами и самками для беркута в 2,15 м (Карякин, 2004);
- тип полёта: $(2/\pi)F$, с $F=1$ (взмахи = 0 или планирование = 1);
- средняя скорость птицы: средние данные получены по визуальным наблюдениям на гнездовых участках (фиксировалось время наблюдения орлов на высотах в диапазоне ЗДР и пройденное ими за это время расстояние).

each row), was 252978 m², according to the parameters of the Zhanatas wind farm (calculated using satellite images in Google Earth).

The calculation details for the model are taken from Karyakin *et al.*, 2021:

1. Zone A of the wind farm was defined as a polygon built around the outermost turbines and was 10 km² for each 5×5 km cell.

2. Flight time T was calculated by multiplying the number of days by the average day length for each season. Day length was defined as the number of hours between sunrise and sunset for the latitude of each cell in the range from 40.85 to 46.53° according to the model of Forsythe *et al.*, 1995.

3. Bird numbers n for each season were estimated within the boundaries of the wind farm. This is the number of birds present multiplied by the time spent in flight over the wind farm during the analysed period for which the collision estimate is made: $n = F \times A \times T$.

4. The hazardous area for flights V_w was calculated as the area of the wind farm multiplied by the rotor diameter (=121 m).

5. The total volume swept by the wind farm rotors was calculated as $V_r = N \times \pi R^2 \times L$, where N is the number of wind turbines (=40), R is the rotor length (=60.5 m), L is the bird's body length. The bird's body length is defined as the average between males and females for the golden eagle, 0.85 m (Karyakin, 2004).

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

7. The time required for a bird to pass through the rotor disk was calculated as $t = (d + L) / v$, where v is the speed in m/s.

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

9. The 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;
- pitch: 15 degrees;
- bird body length: 0.85 m (see item 5);
- bird wingspan: defined as the average between males and females for the golden eagle of 2.15 m (Karyakin, 2004);
- flight type: $(2/\pi)F$, with $F=1$ (flapping = 0 or gliding = 1);
- an average speed of the bird: average data were obtained from visual observations in nesting areas (the time of observation of eagles at heights in the RSZ range and the distance they travelled during this time were recorded).

Для ввода и обработки данных использована программа BioDiv²¹, в которую интегрированы формулы из таблиц MS Excel²³, доступных в качестве дополнительных материалов к статье Christie, Urquhart, 2015 и на сайте Natural Research (Collision Risk Modelling, 2015), а также таблицы MS Excel²⁴, доступные на странице «SOSS-02: Обзор методов оценки риска столкновения птиц с морскими ветроэлектростанциями»²⁵ сайта BTO (Band, 2012).

По результатам оценки рисков в программе Vulnerability²⁶ построена карта вероятности столкновения беркутов с лопастями ВЭС для исследуемой территории с шагом ячейки 5 км.

Простейшую математическую обработку данных осуществляли в MS Excel 2003 и Statistica 10. Для основных выборок приводятся диапазон данных, среднее значение и стандартное отклонение ($\pm SD$), если не оговаривается иного. Для показателей плотности гнездящихся пар в площадочных учётах приводится стандартная ошибка средневзвешенной ($\pm SE$). Конвертация ГИС-файлов разных форматов (Shapefile, GeoJSON, KML, CSV) осуществлялась через веб-сайт mapshaper²⁷.

Результаты исследований

Обзор опубликованной информации о популяции беркута на исследуемой территории

Беркут – осёдлый вид, широко распространённый на территории большинства горных массивов Тянь-Шаня (Корелов, 1962). Б.М. Губин и О.В. Белялов (2017) характеризуют беркута как обычный осёдлый вид Сырдарьинского Каратау, встречающийся везде, где есть скальники. М.Н. Корелов (2012) описывает несколько встреч с беркутами в ходе экспедиций 1958 и 1960 гг. на Каратау: в ущ. Узунбулак пару беркутов видели 7 и 8 апреля 1958 г., одиночку встретили 10 апреля в горах Бурултау, также птиц видели 22 апреля возле села Балыкчи и 26 апреля на Казгурте, возле с. Шавровка 23 апреля наблюдали 3-х орлов, на Кашкарате 9 и 11 мая – 1-го орла; в горах Кендыктас беркута видели 3 июля 1960 г., а в Акбастау на прорыве Боролдая 12 июля была встречена самка с добычей. В районе с. Пистели (севернее с. Ванновка) в горах Боролдая 9 мая 1981 г. на высту-

The BioDiv²¹ program was used for data entry and processing, integrating formulas from MS Excel²³ 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 Excel²⁴ tables available on the page “SOSS-02: A Review of Methods for Assessing the Risk of Bird Collisions with Off-shore Wind Farms” on the BTO website²⁵ (Band, 2012).

Based on the risk assessment results in the Vulnerability²⁶ program, a map of the probability of golden eagle collisions with wind farm blades was constructed for the study area with a cell step of 5 km.

The most straightforward mathematical processing of the data was carried out in MS Excel 2003 and Statistica 10. Unless otherwise stated, the data range, mean value and standard deviation ($\pm SD$) are given for the primary samples. The standard error of the mean ($\pm SE$) is shown for nesting pair density values in plot censuses. GIS file conversion of different formats (Shapefile, GeoJSON, KML, CSV) was performed via the mapshaper²⁷ website.

Research Results

Review of published information on the Golden Eagle population in the study area

The Golden Eagle is a permanent presence in the breeding range species, widespread in most Tien Shan mountain ranges (Korelov, 1962). B.M. Gubin and O.V. Belyalov (2017) characterise the GE as a common sedentary species of the Syr Darya Karatau found wherever rocky outcrops exist. M.N. Korelov (2012) describes several encounters with GEs during expeditions to the Karatau in 1958 and 1960: a pair of GEs were seen in the Uzunbulak gorge on April 7 and 8, 1958, a single one was encountered on April 10 in the Burultau mountains, birds were also seen on April 22 near the village of Balykchi and on April 26 in Kazgurt, near the village of on April 23, 3 eagles were observed in Shavrovka, on May 9 and 11, 1 eagle was observed in Kashkarat; in the Kendyktas Mountains, a GE was seen on July 3, 1960, and in Akbastau, at the Boroldai breakthrough, a female with prey was encountered on July 12. In the village of Pisteli (north of Vannovka), in the Boroldai Mountains, on May 9, 1981, a Golden

²³ http://www.natural-research.org/download_file/view/86/346

²⁴ http://www.bto.org/sites/default/files/u28/downloads/Projects/Final_Report_SOSS02_Band2Tool.xlsm

²⁵ <http://www.bto.org/our-science/wetland-and-marine/soos/projects>

²⁶ <http://vulnerability.eaglesofthepalearctic.org/map>

²⁷ <http://mapshaper.org>

пе скалы найдено гнездо беркут с двумя яйцами (Пфандер, 1986). Осенью 2002 г. орлов часто наблюдали на Каратау в ущельях Сайасу, Боялдыр, Карагур, а также один раз на Боролдае (Чаликова, Колбинцев, 2006). В.Г. Колбинцев (2004) популяцию беркута в горах Малого Каратау и на хребте Боролдай оценивал всего в 4–5 пар, которые гнездились только в недоступных скалах самых высоких участков гор со значительной степенью изрезанности рельефа: в Беркаринской группе ущелий, обращенных к озеру Бийликколь, на Боролдае в районе каньонов рек Боролдай и Кошкарата; судя по многократным встречам птиц и подходящим особенностям местности, их гнездование также предполагается в районе вершины Бокейтау (верховья Улькун Кокбулак) и в верховьях рек Шабакты и Беркуты. В Северном Каратау гнезда беркутов были найдены в Кенсае в районе Ачисайского перевала, в скальном массиве Кенчектау у вершин Мынжилки и в урочище Каракур (Колбинцев, 2004). В северо-западной части Каратау в течении 4-х дней (22–25 апреля 2025 г.) было обнаружено 14 гнёзд беркута на 12 гнездовых участках; в нескольких гнёздах самки сидели на кладках, в одном гнезде было уже 2 яйца, на других участках птицы либо токовали, либо занимались подновлением своих гнёзд, большинство из которых было устроено на полках скальных обнажений временных водотоков центральной части горного массива (Карякин, Барабашин, 2006). В 5 км севернее Каратау жилое гнездо беркута со свежеснесенным яйцом было обнаружено 25 апреля в нише 4-х метрового глиняного обрыва (Карякин, Барабашин, 2006). На территории Каратауского заповедника беркута встречали почти во всех ущельях, но гнёзд не находили (Исмаил уулу, 2007).

В ближайших к Каратау окрестностях беркуты гнездятся в заповеднике Аксу-Джабаглы (Ковшарь, 2019) и на территории Сайрам-Угамского национального парка, где их наблюдают регулярно и круглогодично (Чаликова, 2009b). В заповеднике Аксу-Джабаглы (Таласский Алатау) беркут наблюдался практически всеми исследователями (Ивашенко, 1986; 2009; Колбинцев, Чаликова, 2002; Чаликова, 2002; 2004; 2006; 2007; 2008; Колбинцев, 2004), на доступной части территории несколько десятилетий (с 1926 г.) было известно 5 жилых гнёзд беркута (на скалах водопада Кши-Каинды – 1800 м, в урочище Балдабрек – 1900 м, в урочище Кылжар – 1500м, в верховьях ущелья Тал-

Eagle nest with two eggs was found on a rock ledge (Pfander, 1986). In the autumn of 2002, eagles were often observed on Karatau in the Sayasu, Boyaldyr, and Karagur gorges and once on Boroldai (Chalikova, Kolbintsev, 2006). V.G. Kolbintsev (2004) estimated the GE population in the Maly Karatau Mountains and on the Boroldai Ridge at only 4–5 pairs, which nested only in inaccessible cliffs of the highest parts of the mountains with a significant degree of the ruggedness of the relief: in the Berkarinskaya group of gorges facing Lake Biylikol, on Boroldai in the area of the canyons of the Boroldai and Koshkarata Rivers; judging by the repeated encounters with birds and suitable terrain features, their nesting is also assumed in the area of the Bokeytau summit (upper reaches of the Ulkun Kokbulak) and the upper reaches of the Shabakty and Berkuty Rivers. In Northern Karatau, golden eagle nests were found in Kensai in the area of the Achisai Pass, in the Kenchektau rock massif near the peaks of Mynzhilki and in the Karakur tract (Kolbintsev, 2004). In the northwestern part of Karatau, 14 GE nests were discovered in 12 breeding territories over 4 days (April 22–25, 2025); in several nests, females were sitting on clutches, one nest already had two eggs, in other sites, the birds were either mating or renovating their nests, most of which were built on the shelves of rocky outcrops of temporary watercourses in the central part of the mountain range (Karyakin, Barabashin, 2006). An inhabited GE nest with a freshly laid egg was discovered on April 25 in a niche of a 4-meter clay cliff at 5 km north of Karatau (Karyakin, Barabashin, 2006). On the Karatau Nature Reserve territory, GEs were encountered in almost all gorges, but no nests were found (Ismail uulu, 2007).

In the vicinity of Karatau, GEs nest in the Aksu-Dzhabagly State Nature Reserve (Kovshar, 2019) and on the territory of the Sairam-Ugam National Park, where they are observed regularly and year-round (Chalikova, 2009b). In the Aksu-Dzhabagly State Nature Reserve (Talas Alatau), the GE was followed by almost all researchers (Ivaschenko, 1986; 2009; Kolbintsev, Chalikova, 2002; Chalikova, 2002; 2004; 2006; 2007; 2008; Kolbintsev, 2004), in the accessible part of the territory for several decades (since 1926) 5 inhabited nests of the GE were known (on the rocks of the Kshikaindy waterfall – 1800 m, in the Baldabrek tract – 1900 m, in the Kyzylzhar tract – 1500 m, in the upper reaches of the Taldybulak gorge – 1900 m and the gorge of the Topshak River – 2000 m (Kovshar, 1966; Ivaschenko, 1986; Chalikova, 2006), and at least twice as many

дыбулак – 1900 м и в ущелье р. Топшак – 2000 м (Ковшарь, 1966; Иващенко, 1986; Чаликова, 2006), а на всей территории их обитания предполагалось как минимум вдвое больше (Ковшарь, 2019). В начале 2000-х гг. на территории заповедника было известно 12 гнёзд беркута, которые периодически занимались птицами (Чаликова, 2002). На Ирсу-Машатском участке Сайрам-Угамского национального парка беркутов наблюдали в горах Таскара, в верховья р. Ирсу и в ущ. Сарыайгыр (Чаликова, 2009a; 2009b; 2009c).

Южнее Каратау 13 мая 2006 г. беркут наблюдался в районе основного повышения хребта Казгурт, где вполне возможно его гнездование (Чаликова, 2006). Но на изолированном хребте Бельтау, расположенном также южнее Каратау между населёнными пунктами Арысь и Ходжатугай, беркут не обнаружен орнитологами (Губин, 2018b).

Восточнее Каратау в 15 км севернее пос. Аксуек 24 апреля 1996 г. найдено гнездо беркута с 2 насиженными яйцами, расположенное на вершине саксаула в 1,5 м от земли в обширной соровой котловине, среди барханов с редким саксаульником (Березовиков и др., 1999), беркуты были встречены у Аксуека и в Сексеулдале осенью 2007 г. (Коваленко, 2008), одиночная птица наблюдалась зимой (12 января 2008 г.) в предгорной части поймы реки Чу над склоном Кастекского хребта (Белялов, Карпов, 2009).

В Серектасе (юго-восточная часть Чу-Илийских гор) 25 июня 1992 г. встречена пара близ зимовки; по сообщению В.А. Белялова здесь чабаны сожгли многолетнее гнездо этой пары на скале; беркут, сидящий на опоре ЛЭП, наблюдался близ Анархия 13 июля 1992 г. (Губин, 2008). Гнездо с кладкой нашли в нише берегового обрыва р. Копалысай 2 апреля 1997 г. (Березовиков и др., 1999). Пара беркутов явно на гнездовом участке встречена 26 апреля 2001 г. над ущельем Ешкылы, где 29 апреля найдено гнездо с только что вылупившимися птенцами в верхней части склона в скальнике над рекой (Губин, 2008). При проведении орнитологических работ беркута отмечали неоднократно на территории Жусандалинской заповедной зоны и в горах Хантау (Склярченко, 2005; 2007; Коваленко, 2008).

Между Чу-Илийскими горами и Каратау беркут определённо гнездится Мойынкумах, ежегодно регистрировался на территории Андасайского заказника, в котором



Беркут. Фото И. Карякина.

Golden Eagle. Photo by I. Karyakin.

were assumed throughout their habitat (Kovshar, 2019). In the early 2000s, 12 GE nests were known on the reserve's territory, periodically occupied by birds (Chalikova, 2002). In the Irsu-Mashat section of the Sairam-Ugam National Park, GEs were observed in the Taskara Mountains, in the upper reaches of the Irsu River and the Saryaygyr gorge (Chalikova, 2009a; 2009b; 2009c).

South of Karatau, on May 13, 2006, a GE was observed in the area of the principal elevation of the Kazgurt ridge, where its nesting is entirely possible (Chalikova, 2006). However, ornithologists did not find the GE on the isolated Beltau ridge, also located south of Karatau between Arys and Khodzhatugai (Gubin, 2018b).

To the east of Karatau, 15 km north of the village of Aksuek, on April 24, 1996, a GE nest with two hatched eggs was found, located on the top of a saxaul tree 1.5 m from the ground in a vast depression, among dunes with sparse saxaul (Berezovikov *et al.*, 1999), GEs were encountered near Aksuek and in Sekseuldal in the fall of 2007 (Kovalenko, 2008), a single bird was observed in winter (January 12, 2008) in the foothill part of the Chu River floodplain above the slope of the Kastek Range (Belyalov, Karpov, 2009). In Serektas (southeastern part of the Chu-Ili Mountains) on June 25, 1992, a pair was encountered near wintering; according to V.A. Belyalov, shepherds burned the long-standing nest of this pair on a cliff; a GE sitting on a power transmission line support was observed near Anarkhai on July 13, 1992 (Gubin, 2008). A nest with clutches was found in a niche of the coastal cliff of the Kopalysai River on April 2, 1997 (Berezovikov *et al.*, 1999). A pair of GEs, clearly in the breeding territory, was encountered on April 26, 2001, above the Eshkily gorge, where on April 29, a nest with newly hatched nestlings was found in the upper part of the slope in a rocky outcrop above the river (Gubin, 2008). Dur-

было известно также жилое гнездо в 18 км к северу от центральной усадьбы заказника (Губин, 2018а). По неопубликованным наблюдениям С. Шмыгалёва беркут наблюдался практически везде на востоке Бетпакдалы, но больше всего встречался по горным группам Джамбулгора, Байкара, Курманчаты, которые, по сути, являются продолжением Чу-Илийских гор. Из 19 осмотренных им гнёзд 18 были на скалах и 1 на саксауле (Губин, 2018а). В районе Джамбулгоры беркут наблюдался летом 2005 г. (Склярченко, 2006). А. Акимканова (Акимканова и др., 2024) приводит фотографию сидящей на гнезде самки от 6 мая 2015 г. на выступе скалы севернее Акбакая в районе метеостанции Майтукен.

По данным сайта любителей птиц Казахстана, больше всего наблюдений беркута сделано в южной и юго-восточной частях страны. На исследуемой нами территории 69% наблюдений приходится на заповедник Аксу Джабаглы и его окрестности (Акимканова и др., 2024). Так, ежегодно, начиная с 2014 г., наблюдатели делились фотографиями беркутов в окрестностях с. Жабаглы (Акимканова и др., 2024). Большинство наблюдений сделано осенью и зимой. В весенне-летнее время беркутов обычно фотографировали в окрестностях хр. Боралдайтау; несколько наблюдений опубликовано для территории Сайрам-Угамского национального природного парка (Акимканова и др., 2024). В то же время для Чу-Илийских гор и прилегающих к ним территорий, за последние 15 лет на сайт было добавлено меньше десятка наблюдений беркута (Акимканова и др., 2024).

Полевые исследования авторов

За весь период исследований с 2005 по 2024 гг. на рассматриваемой территории выявлено 120 гнездовых участков беркута (в Каратау – 80, в Чу-Илийских горах – 40, табл. 1). Также, отдельные встречи беркута в гнездовой период известны в песках Мойынкум (3 точки встреч), где этот орёл распространён спорадично, и на передовых складках западного макросклона Таласского Алатау (1 гнездовой участок и 1 встреча птицы в гнездопригодном биотопе), где имеется крупная гнездовая группировка беркута, что мы видим по наборам данных (GBIF.org, 2024; Акимканова и др., 2024), но нами здесь не велись исследования этого вида (рис. 2).

ing ornithological work, GE were repeatedly noted in the territory of the Zhusandalinskaya Nature Reserve and the Khantau mountains (Sklyarenko, 2005; 2007; Kovalenko, 2008).

Between the Chu-Ili Mountains and Karatau, the GE nests in Moyinqum Sands and was recorded annually in the Andasai Nature Reserve, where an living nest was also known 18 km north of the reserve's central estate (Gubin, 2018a). According to unpublished observations by S. Shmygalev, the GE was observed almost everywhere in the east of Betpakdala but was most often found in the mountain groups of Dzhambulgora, Baikara, and Kurmanchaty, which are essentially a continuation of the Chu-Ili Mountains. Of the 19 nests he examined, 18 were on rocks and one on saxaul (Gubin, 2018a). In the Dzhambulgora area, the GE was observed in the summer of 2005 (Sklyarenko, 2006). A. Akimkanova (Akimkanova *et al.*, 2024) provides a photograph of a female sitting on a nest from May 6, 2015, on a rock ledge north of Akbakai in the area of the Maityuken meteorological station.

According to the Kazakhstan Birdwatching Community website, most GE observations were made in the southern and southeastern parts of the country. In the territory we studied, 69% of observations were made in the Aksu Dzhabagly State Nature Reserve and its environs (Akimkanova *et al.*, 2024). Thus, annually, in 2014, observers shared photographs of GEs in the vicinity of the village of Zhabagly (Akimkanova *et al.*, 2024). Most of the observations were made in autumn and winter. In the spring and summer, GEs were usually photographed near the Boraldytau ridge; several observations were published for the territory of the Sairam-Ugam National Nature Park (Akimkanova *et al.*, 2024). At the same time, less than a dozen GE observations have been added to the site for the Chu-Ili Mountains and adjacent territories over the past 15 years (Akimkanova *et al.*, 2024).

Field research of the authors

During the entire research period from 2005 to 2024, 120 breeding territories of the GE were identified in the territory under consideration (80 in Karatau, 40 in the Chu-Ili Mountains, Table 1). Also, individual encounters of the Golden Eagle during the nesting period are known in the Moyinqum Sands (3 record points), where this eagle is sporadic, and on the advanced folds of the western macroslope of the Talas Alatau (1 breeding territory and one record of a bird in a breeding biotope), where there is a sizeable nesting group of the GE, which we can see from the data sets (GBIF.org, 2024; Akimkanova *et al.*,

Табл. 1. Гнездовые участки и случаи размножения беркута (*Aquila chrysaetos*) в Каратау и Чу-Илийских горах в 2005–2024 гг.Table 1. The Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) breeding territories and cases of breeding in Karatau and Chu-Ili Mountains from 2005 to 2024.

Территория Territory	Год Year	Гнездовые участки Breeding territories	Покинутые гнездовые участки Abandoned breeding territories	Новые гнездовые участки New breeding territories	Занятые гнездовые участки Occupied breeding territories	Доля от общего числа выявленных гнездовых участков, % Share of the total number of breeding territories, %	Успешные гнёзда на момент первой проверки Successful nests at the time of first observation	Доля от числа занятых гнездовых участков, % Share of the total number of occupied breeding territories, %
Каратау Karatau	Истинные гнездовые участки* The true number of breeding territories*	80	5	1	75	93.75	27	36.00
	Случаи гнездования** Breeding cases**	99	5	1	94	94.95	27	28.72
	2005	11			11	100.00	3	27.27
	2010	35			35	100.00	18	51.43
	2022	40	3		37	92.50	4	10.81
	2024	13	2	1	11	84.62	2	18.18
Чу-Илийские горы Chu-Ili Mountains	Истинные гнездовые участки* The true number of breeding territories*	40	4		36	90.00	13	36.11
	Случаи гнездования** Breeding cases**	42	4		38	90.48	13	34.21
	2009	13	1		12	92.31	7	58.33
	2023	21	3		18	85.71	4	22.22
	2024	8			8	100.00	2	25.00
Всего истинных гнездовых участков Total the true number of breeding territories		120	9	1	111	92.50	40	36.04
Доля / Share, %		100	7.50	0.83	92.50		36.04	
Всего случаев гнездования Total breeding cases		141	9	1	132	93.62	40	30.30
Доля / Share, %		100	6.38	0.71	93.62		30.30	

Примечания / Notes:

* Истинное число гнездовых участков без учёта дублирования в ходе повторных проверок / The true number of breeding territories not duplicated during repeated checks.

** Случаи гнездования (в разные годы ряд одних и тех же гнездовых участков посещался повторно) / Breeding cases (in different years some of the same breeding territories were visited repeatedly).

Из 80 гнездовых участков беркута в Каратау к концу 2024 г. 75 оставались занятыми орлами: 1 новый появился в 2024 г. и 5 гнездовых участков было покинуто птицами, (табл. 1). На гнездовых участках обнаружено 102 гнезда беркута, 33 из которых были альтернативными старыми постройками, а 69 – занятыми. Успешное размножение

2024), but we did not conduct studies of this species here (Fig. 2).

Of the 80 GE breeding territories in Karatau, 75 remained occupied by eagles by the end of 2024: 1 new one appeared in 2024, and 5 breeding territories were abandoned by birds (Table 1). A total of 102 GE nests were found in the breeding territories, 33 of which were

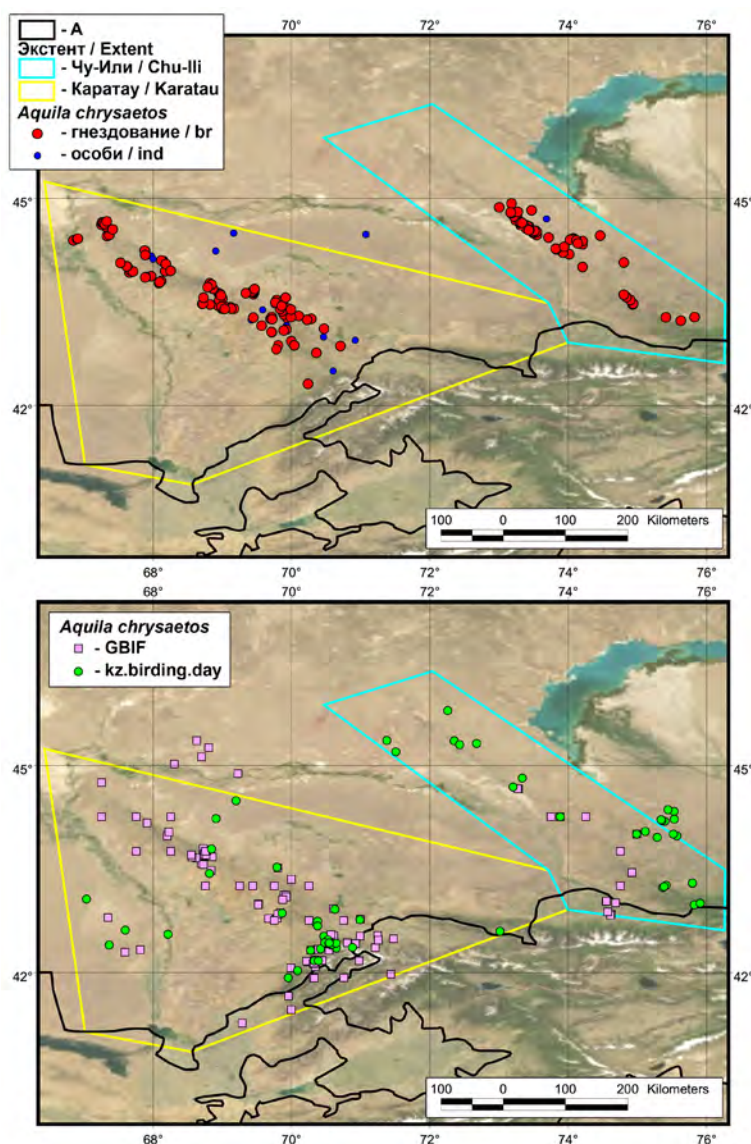


Рис. 2. Регистрации беркута (*Aquila chrysaetos*) в Каратау и Чу-Илийских горах в 2005–2024 гг. по наблюдениям авторов статьи из базы данных RRRCN (вверху), из GBIF и с сайта Казахстанского сообщества наблюдателей птиц (внизу). Условные обозначения: А – границы стран, гнездование – гнезда или встречи пар с гнездовым поведением, особи – регистрации одиночных птиц в гнездовой период.

Fig. 2. Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) records in Karatau and Chu-Ili Mountains in 2005–2024 based on observations by the authors of this article from the RRRCN database (upper), from GBIF and the Kazakhstan birdwatching community website (bottom). Legends: A – borders of countries, br – nests or observations of pairs with breeding behaviour, ind – records of single birds during the breeding period.

отмечено на 27,3% гнёзд в 2005 г. и 51,4% – в 2010 г., но в 2022–2024 гг. на рассматриваемой территории успешное размножение отмечалось лишь у 10,8–18,2% пар (табл. 1). Столь низкий уровень размножения орлов был вызван глубокой депрессией численности грызунов, и исчезновением зайца-толая (*Lepus tolai*) и среднеазиатской черепахи (*Testudo [Agrionemys] horsfieldii*). Причём самый провальный по успеху размножения был 2022 г., когда на фоне отсутствия мелких млекопитающих и черепахи, наблюдалось снижение численности кекалика (*Alectoris chukar*), который все эти годы оставался единственным базовым кормом орлов. Из 5 жилых в 2010 г. гнёзд беркута, которые были повторно осмотрены в 2022 г., ни одно не было успешным, и 3 из них уже давно не занимались орлами. Несмотря на отсутствие размножения у многих пар беркутов в Каратау, они продолжали держаться на гнездовых участках. Прекращение регистраций взрос-

alternative old buildings, and 69 were occupied. Successful breeding was noted in 27.3% of nests in 2005 and 51.4% in 2010, but in 2022–2024, successful breeding was noted in only 10.8–18.2% of pairs in the study area (Table 1). Such a low level of eagle reproduction was caused by a deep depression in the number of rodents and the disappearance of the Tolai Hare (*Lepus tolai*) and the Central Asian Tortoise (*Testudo [Agrionemys] horsfieldii*). Moreover, the most unsuccessful year in terms of breeding success was 2022, when, against the background of the absence of small mammals and a tortoise, a decrease in the number of the Chukar (*Alectoris chukar*) was observed, which all these years remained the only basic food for eagles. Of the five Golden Eagle nests inhabited in 2010, which were re-examined in 2022, none were successful, and 3 of them had not been occupied by eagles for a long time. Despite the lack of reproduction in many Golden Eagle pairs in Karatau, they continued to stay in nesting areas. The cessation of registrations of adult birds and abandonment of nesting sites was noted in 5 areas in places of anthropogenic disturbances (construction of facilities, development of minerals) in 3 out of 5 cases – in the zone of influence of the Zhanatas wind farm and the Shokpar wind farm (see details below).

Of the 40 GE breeding territories in the Chu-Ili Mountains, 36 remained occupied by eagles by the end of 2024 (Table 1). A total of 66 GE nests were found in the breeding territories, 30 of which were alternative old buildings, and 36 were occupied. Successful breeding was noted in 58.3% of nests in 2009, 22.2% in 2023, and 25.0% in 2024 (Table 1). In general, the breeding success of GEs (the proportion of successful nests out of the number of occupied nests) for all breeding cases

лых птиц и оставление гнездовых участков отмечено на 5 участках в местах антропогенных нарушений (строительство объектов, разработка полезных ископаемых), в 3-х из 5 случаев – в зоне влияния Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» (подробности см. ниже).

Из 40 гнездовых участков беркута в Чу-Илийских горах, к концу 2024 г. 36 оставались занятыми орлами (табл. 1). На гнездовых участках обнаружено 66 гнёзд беркута, 30 из которых были альтернативными старыми постройками, а 36 – занятыми. Успешное размножение отмечено на 58,3% гнёзд в 2009 г., на 22,2% гнёзд – в 2023 г. и на 25,0% гнёзд – в 2024 г. (табл. 1). В целом успех размножения беркутов (доля успешных гнёзд от числа занятых) по всем случаям размножения в Чу-Илийских горах оказался выше, чем в Каратау (34,21% относительно 28,72%), но незначительно. По истинным гнездовым участкам средняя успешность размножения составила 36,04% за все годы исследований. Прекращение гнездования за весь период отмечено на 4 гнездовых участках, в 3-х случаях из которых причиной стало строительство ферм под гнездовыми скалами, оказавшимися единственными гнездопригодными на данных участках. Не исключено, что птицы переместились в иные гнездовые биотопы, которые выпали из нашего обследования. В частности, здесь известно гнездование беркута на опорах ЛЭП и деревьях в удалении от скал (см. GBIF.org, 2024; Акимканова и др., 2024).

Дистанции между активными и старыми альтернативными гнёздами беркута в пределах одного участка изменялись от 0,04 до 2,09 км, в среднем ($n=68$) $0,68 \pm 0,55$ км и были фактически одинаковыми в Каратау и Чу-Илийских горах.

Дистанции между ближайшими соседями беркута варьировали от 1,79 до 25,64 км, составив в среднем ($n=86$) $7,44 \pm 5,57$ км (рис. 3). Треть беркутов (30,23%) гнездились в удалении на 3–5 км друг от друга. Интересно, что дистанции между ближайшими соседями в диапазоне от 11 до 13 км отсутствовали, что предполагает возможность пропуска гнездовых участков беркутов в гнездопригодных биотопах на дистанциях далее 13 км. Таких дистанций между гнездовыми участками орлов выявлено 17 (19,77%), но 5 из них протянулись через пространство между локациями, на котором места, пригодные для гнездования беркута, отсутствовали, а остальные 12 размещались на вполне пригодных для гнездования территориях.

in the Chu-Ili Mountains was higher than in Karatau (34.21% versus 28.72%) but not significantly. For actual breeding territories, the average breeding success was 36.04% overall years of research. Cessation of nesting over the entire period was noted in 4 nesting sites; in 3 cases, the cause was the construction of farms under nesting cliffs, which turned out to be the only suitable nesting sites in these sites. It is possible that the birds moved to other nesting biotopes that were not included in our survey. In particular, GE nest on power transmission line supports and trees away from cliffs (see GBIF.org, 2024; Akimkanova *et al.*, 2024).

Distances between active and old alternative nests of the GE within one site varied from 0.04 to 2.09 km, on average ($n=68$) 0.68 ± 0.55 km and were virtually the same in Karatau and the Chu-Ili Mountains.

Distances between the nearest neighbours of the GE varied from 1.79 to 25.64 km, on average ($n=86$) 7.44 ± 5.57 km (Fig. 3). One-third of the GEs (30.23%) nested at a distance of 3–5 km from each other. Interestingly, distances between the nearest neighbours in the range of 11 to 13 km were absent, which suggests the possibility of missing nesting sites of golden eagles in suitable biotopes at distances further than 13 km. There were 17 such distances (19.77%) between the breeding territories of eagles. Still, five stretched through the space between the locations where no places were suitable for nesting the GE, and the remaining 12 were located in territories quite suitable for nesting.

A comparison of the distances between the closest neighbours of the GE in Karatau and the Chu-Ili Mountains shows that in Karatau, eagles nest on average at shorter distances from each other (6.49 ± 4.63 km, $n=57$, 1.79–21.45 km) than in Chu-Ili (9.31 ± 6.78 km, $n=29$, 1.85–25.64 km) and the difference in means looks reliable ($t=-2.27$, $p=0.026$). However, in general, if we focus on the real mountain areas, the distribution is the same; it is just that in the Chu-Ili Mountains, there are quite a lot of narrow valleys with rare rocks, where the GE nests at a distance from each other at distances higher than average. This determines the presence of two groups (close and distant) of distances between the nearest neighbours in the Chu-Ili Mountains (Fig. 3).

All GE nests in Karatau (102) and the Chu-Ili Mountains (66) are built on cliffs, mainly in the upper third (50.61%, $n=164$) (Fig. 4). Moreover, in Karatau, the proportion of nests built in the upper third of cliffs (53.92%, $n=102$) is higher than in the Chu-Ili Mountains (45.16%,

Сравнение дистанций между ближайшими соседями беркута в Каратау и Чу-Илийских горах показывает, что в Каратау орлы гнездятся в среднем на меньших дистанциях друг от друга ($6,49 \pm 4,63$ км, $n=57$, 1,79–21,45 км), чем в Чу-Или ($9,31 \pm 6,78$ км, $n=29$, 1,85–25,64 км) и разница средних выглядит достоверной ($t=-2,27$, $p=0,026$). Однако в целом, если ориентироваться на настоящие горные участки, распределение одинаково, просто в Чу-Илийских горах достаточно много узких долин с редкими скалами, на которых беркут гнездится в удалении друг от друга на расстояниях выше средних. Это определяет наличие двух групп (близких и дальних) дистанций между ближайшими соседями в Чу-Илийских горах (рис. 3).

Все гнёзда беркута в Каратау (102) и Чу-Илийских горах (66) устроены на скалах, преимущественно в верхней трети (50,61%,

$n=62$), where quite a lot of nests are located in the lower third of cliffs (19.61% in Chu-Ili compared to 38.71% in Karatau). The height of the nests varies from 2 to 250 m, averaging ($n=145$) 35.98 ± 43.97 m (median 20 m). In Karatau, Golden Eagles build nests at a higher altitude (52.28 ± 47.92 m, $n=92$, *lim* 3–250 m) than in the Chu-Ili Mountains (7.68 ± 7.07 m, $n=53$, *lim* 2–40 m), with a reliable difference ($t=6.665$, $df=142$, $p<0.00000$), mainly due to the higher cliffs in Karatau (Fig. 4). 44.16% of nests ($n=154$) were built on open-topped ledges, 40.91% in niches closed on all sides, and 14.94% in semi-niches (ledges under a canopy or niches open on one side). Moreover, in Karatau, although not significantly, nests built-in niches dominated (48.51%, $n=101$), and in the Chu-Ili Mountains – on shelves (56.6%, $n=53$), which is associated with the structure of the rocks and

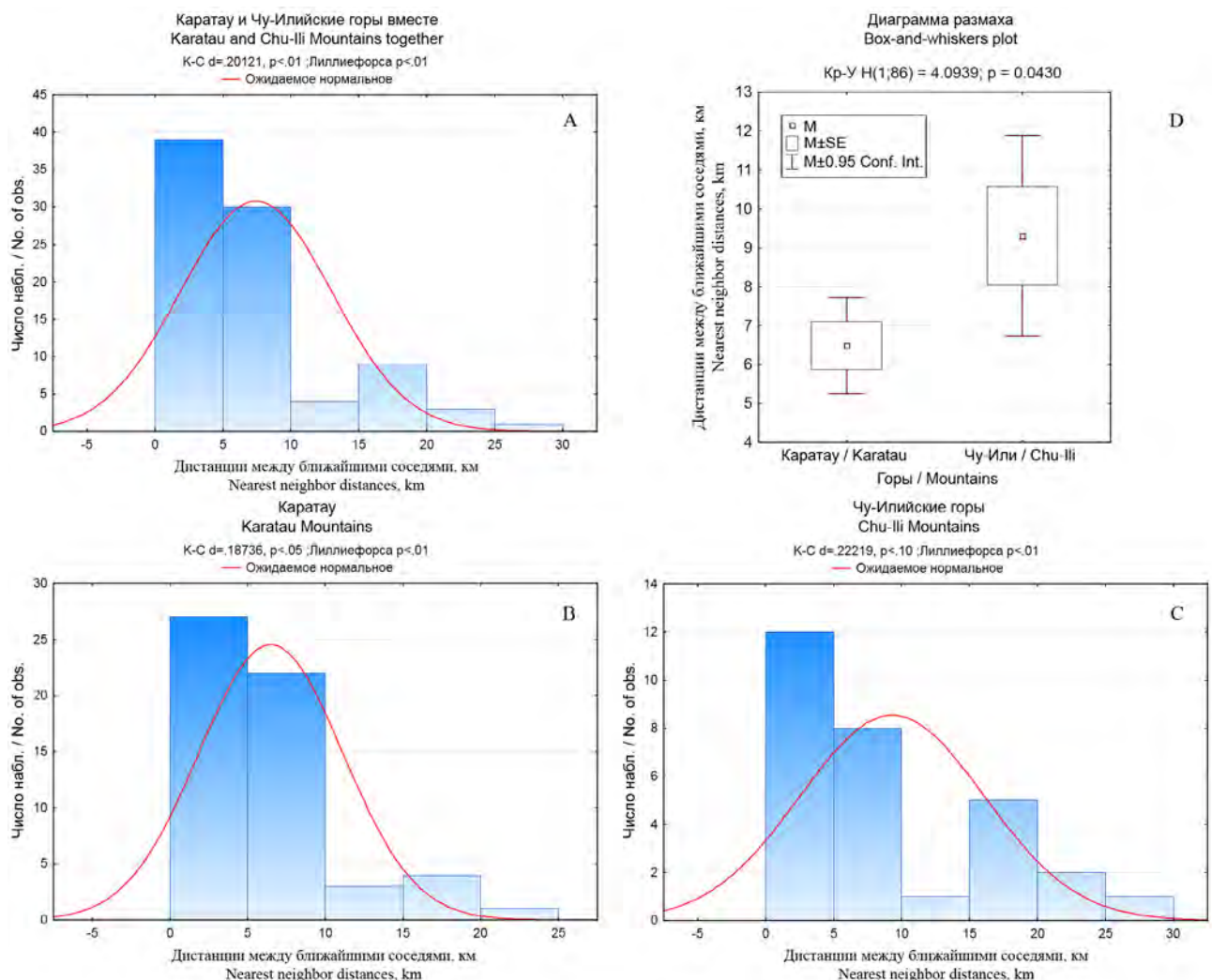


Рис. 3. Гистограммы дистанций (в км) между ближайшими соседями беркута в Каратау и Чу-Илийских горах – А, только в Каратау – В, только в Чу-Илийских горах – С и диаграмма размаха дистанций между ближайшими соседями беркута в Каратау и Чу-Илийских горах – D.

Fig. 3. Histograms of distances (in km) between the nearest neighbors of the Golden Eagle in Karatau and the Chu-Ili Mountains – A, only in Karatau Mountains – B, only in the Chu-Ili Mountains – C and the box-and-whiskers plot of distances between the nearest neighbors of the Golden Eagle in Karatau and the Chu-Ili Mountains – D.

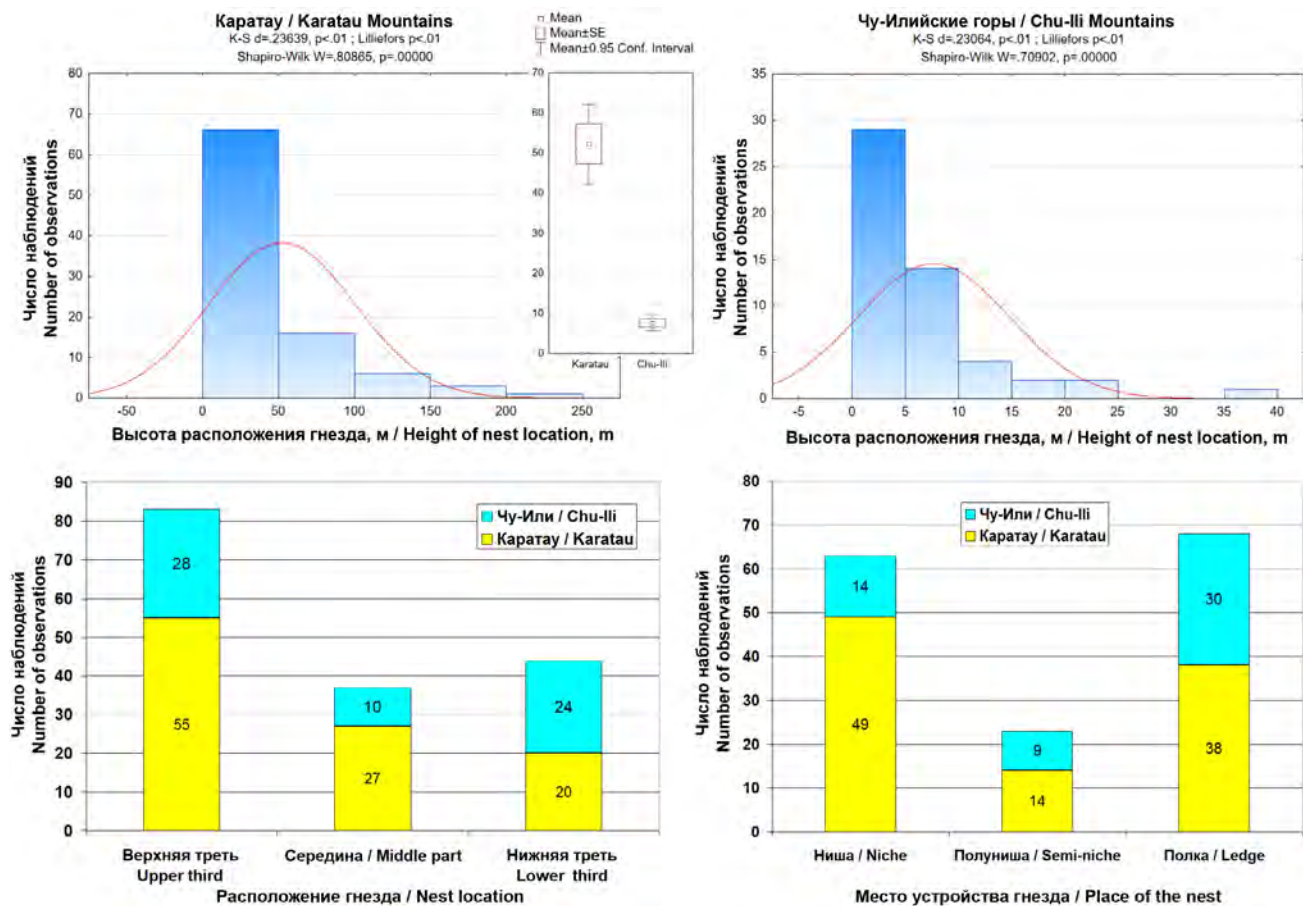


Рис. 4. Высота устройства и расположение гнёзд беркута на скалах в Каратау и Чу-Илийских горах.

Fig. 4. The height above ground and location of the Golden Eagle nest on the cliffs in Karatau and Chu-Ili Mountains.

$n=164$) (рис. 4). Причём в Каратау доля гнёзд, устроенных в верхней трети скал (53,92%, $n=102$), выше, чем в Чу-Илийских горах (45,16%, $n=62$), где достаточно много гнёзд располагается в нижней трети скал (19,61% в Чу-Или относительно 38,71% в Каратау). Высота расположения гнёзд варьирует от 2 до 250 м, составляя в среднем ($n=145$) $35,98 \pm 43,97$ м (медиана 20 м). В Каратау беркуты устраивают гнёзда на большей высоте ($52,28 \pm 47,92$ м, $n=92$, lim 3–250 м), чем в Чу-Илийских горах ($7,68 \pm 7,07$ м, $n=53$, lim 2–40 м), с надёжной разницей ($t=6.665$, $df=142$, $p<0.00000$), в основном, по причине большей высоты скал в Каратау (рис. 4). На открытых сверху полках устроено ($n=154$) 44,16% гнёзд, в закрытых со всех сторон нишах – 40,91% и в полунишах (полки под навесом или открытые с одного бока ниши) – 14,94%. Причём в Каратау, хоть и не значительно, но доминировали гнёзда, устроенные в нишах (48,51%, $n=101$), а в Чу-Илийских горах – на полках (56,6%, $n=53$), что связано со структурой скал и лимитом в них крупных ниш в этих горах (рис. 4).

the limitation of large niches in them in these mountains (Fig. 4).

The examined clutches (5 in the Chu-Ili Mountains and 4 in Karatau) contained 1 to 2 eggs, an average of 1.44 ± 0.53 eggs (two clutches of 1 egg and one of 2 eggs had long since died by the time of examination). The broods contained 1 to 2 nestlings, an average ($n=11$) of 1.18 ± 0.4 (Fig. 5). No difference was observed between the productivity of pairs in Karatau and the Chu-Ili Mountains. Of the six broods observed in Karatau, only one contained two nestlings. Of the five broods examined in the Chu-Ili Mountains, only one contained two nestlings. Repeated checks were carried out only on four nests (1 with two nestlings and 3 with one nestling), in 3 of which, including a nest with two nestlings in the Chu-Ili Mountains in 2024, the nestlings successfully fledged. In one nest in 2024 in the Chu-Ili Mountains, one nestling died, probably due to unsuccessfully leaving the nest before full-fledging (the remains were found under the nest during a repeat check 2–3 weeks after the incident). Thus, we do not have complete data on the productivity of GEs

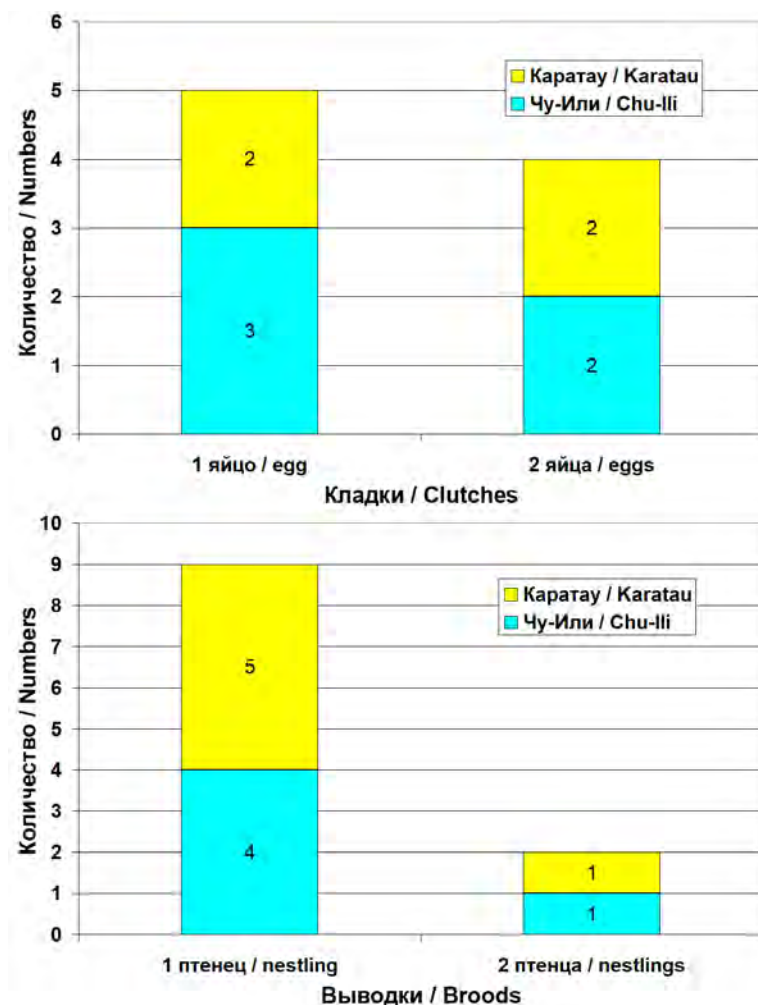


Рис. 5. Число яиц в кладках и птенцов в выводках беркута в Каратау и Чу-Илийских горах.

Fig. 5. Number of eggs per clutch and nestlings per brood of the Golden Eagle in Karatau and Chu-Ili Mountains.

and the survival rate of nests of this species in the territory under consideration, which requires further research. Nevertheless, for the estimation of the population, it is possible to operate with a loss of chicks at the late stages of 25%, taking into account the poor current food situation and, accordingly, an indicator of 0.89 nestlings per successful nest at the time of fledging.

The low success of GE reproduction in 2022–2024 is directly related to the depression in the number of rodents that have affected a vast territory of southern Kazakhstan from 2017–2018 to the present.

In 2005–2010, the Great Gerbil (*Rhombomys opimus*) and the Yellow Ground Squirrel (*Spermophilus fulvus*) were background rodents throughout the study area, both in Karatau and in the Chu-Ili Mountains, with the gerbil dominating on plateau-like uplands and the Ground Squirrel near farms in the valleys. In both Karatau and the Chu-Ili Mountains, the Tolai Hare was present, and large numbers of tortoises were observed, both visually and among the golden eagle's prey. For example, in the northwestern tip of Karatau in April 2005, the tortoise was dominant in the golden eagle's diet (see Karyakin and Barabashin, 2006).

In 2022–2024, the situation with food in the study areas was fundamentally different. In 2022, we managed to identify only three colonies of Great Gerbils in the Karatau Mountains, with a minimal population of several dozen active burrows and four settlements of Yellow Ground Squirrels, also consisting of a dozen active burrows. Within a radius of 2 km from the gerbil colonies and two settlements of Ground Squirrels, successful nests of GEs were identified. However, during the inspection, among the prey, we were able to locate mainly the remains of birds, mainly chukars, and turtles (only on the northern macroslope of the Smal Karatau). A similar situation persisted in 2023–2024. The Tolai Hare and Tortoise have entirely disappeared from both the counts (only one hare was encountered during 60 field days in September 2024) and the Golden Eagle's diet throughout Karatau, except the foot of the northern macroslope. Moreover, the situation with the tortoise in

В осмотренных кладках (5 в Чу-Илийских горах и 4 – в Каратау) было от 1 до 2 яиц, в среднем $1,44 \pm 0,53$ яйца (две кладки из 1 яйца и одна из 2-х яиц были давно погибшие к моменту осмотра). В выводках наблюдалось от 1 до 2 птенцов, в среднем ($n=11$) $1,18 \pm 0,4$ птенца (рис. 5). Какой-либо разницы между продуктивностью пар в Каратау и Чу-Илийских горах не замечено: из 6 выводков, наблюдавшихся в Каратау, только в одном было 2 птенца, из 5 выводков, осмотренных в Чу-Илийских горах, также только в одном было 2 птенца. Повторные проверки проведены только на 4-х гнёздах (1 – с двумя птенцами и 3 – с одним птенцом), в 3-х из которых, включая гнездо с 2 птенцами в Чу-Илийских горах в 2024 г. птенцы успешно вылетели. В одном гнезде, также в 2024 г. в Чу-Илийских горах, один птенец погиб, вероятно, в результате неудачного оставления гнезда до момента полного оперения (останки были найдены под гнездом в ходе повторной проверки через 2–3 недели после инцидента). Таким образом, мы не располагаем полноценными данными по продуктивности беркутов и выживаемости гнёзд этого вида на рассматриваемой территории, что требует

дальнейших исследований. Тем не менее, для оценки численности можно оперировать отходом птенцов на поздних стадиях в 25%, учитывая плохую текущую ситуацию с кормами и, соответственно, показателем в 0,89 птенцов на успешное гнездо к моменту вылета.

Низкая успешность размножения беркута в 2022–2024 гг. напрямую связана с депрессией численности грызунов, затронувших огромную территорию юга Казахстана с 2017–2018 гг. по настоящее время.

В 2005–2010 г. большая песчанка (*Rhombomys opimus*) и жёлтый суслик (*Spermophilus fulvus*) были фоновыми грызунами на всей исследуемой территории, как в Каратау, так и в Чу-Илийских горах, причём песчанка доминировала на платообразных возвышенностях, а суслик около ферм в долинах. И в Каратау и в Чу-Илийских горах присутствовал заяц-толай и наблюдалось большое количество черепах, причём как визуально, так и среди добычи беркута. Например, на северо-западной оконечности Каратау в апреле 2005 г. черепаха была абсолютным доминантом в рационе беркута (см. Карякин, Барабашин, 2006).

В 2022–2024 гг. ситуация с кормами на исследуемых территориях отличалась принципиально. В 2022 г. нам в горах Каратау удалось выявить лишь 3 колонии песчанки, с очень ограниченной численностью в несколько десятков активных нор, и 4 поселения сусликов, состоящих также из нескольких десятков активных нор. В радиусе 2 км от колоний песчанки и 2 поселений сусликов были выявлены успешные гнёзда беркутов, хотя на всех из них во время осмотра среди добычи удалось идентифицировать в основном останки птиц, преимущественно кекликов, и черепах (только на северном макросклоне Малого Каратау). Аналогичная ситуация сохранялась в 2023–2024 гг. Заяц и черепаха на всём протяжении Каратау, за исключением подножья северного макросклона, полностью выпали как из учётов (только 1 заяц встречен за 60 полевых дней в сентябре 2024 г.), так и из рациона беркута. Причём с черепахой ситуация в Каратау оказалась просто катастрофичной – свежие останки её панцирей были обнаружены лишь под двумя гнёздами беркутов на северном макросклоне. На многих гнёздах, где в 2005 и 2010 гг. черепаха доминировала в питании беркута, не удалось найти ни одного более или менее свежего фрагмента карапакса, который бы не превращался в труху в руках, что указывает на длительное отсутствие черепахи на данных гнездовых участках орлов.

Karatau turned out to be simply catastrophic; fresh remains of its shells were found only under two GE nests on the northern macroslope. In many nests, where the tortoise dominated the golden eagle's diet in 2005 and 2010, it was not possible to find a single more or less fresh fragment of the carapace that would not turn into dust in the hands, which indicates a long-term absence of the tortoise in these breeding territories of the GEs.

In half of the GE breeding territories in Smal Karatau in 2022–2024, remains of young Indian Crested Porcupines (*Hystrix indica*) that were eaten were found. This species was not found in the eagle's diet until 2022 and appeared due to the absence of other mammals from the usual prey spectrum. However, it does not play any significant role in the eagles' diet, apparently due to the difference in the daily activity of the porcupine and the GE (the porcupine is a nocturnal animal).

In the Chu-Ili Mountains, the food situation in 2022 was better than in Karatau. Against the background of the ongoing depression in the number of rodents, a moderate number of Tolai Hares (12 registrations in 14 field days) and a relatively high number of turtles remained, which was also noted as either a dominant or sub-dominant in the Golden Eagle's diet, according to the analysis of food remains on and under nests. In 2023, the population of Great Gerbil lance began to recover along the periphery of the Chu-Ili Mountains. Still, by 2024, it had not reached its optimal population size and was absent from many previously inhabited habitats.



Кладка беркута. Чу-Илийские горы, 07.05.2023.
Фото И. Карякина.

Golden Eagle clutch. Chu-Ili Mountains, 07/05/2023.
Photo by I. Karyakin.

На половине гнездовых участков беркутов в Малом Каратау в 2022–2024 гг. были обнаружены останки съеденных молодых дикобразов (*Hystrix indica*). Этот вид до 2022 г. в рационе беркута не встречался и появился, очевидно, по причине отсутствия других млекопитающих из обычного спектра добычи. Тем не менее, он не играет какой-либо значимой роли в рационе орлов, очевидно, из-за разницы в суточной активности дикобраза и беркута (дикобраз ночное животное).

В Чу-Илийских горах ситуация с кормами в 2022 г. была лучше, чем в Каратау. На фоне продолжающейся депрессии численности грызунов, сохранялась умеренная численность зайца (12 регистраций за 14 полевых дней) и относительно высокая численность черепахи, которая также отмечалась либо доминантом, либо суб-доминантом рациона беркута, по анализу останков пищи на гнёздах и под ними. В 2023 г. началось восстановление численности песчанки по периферии Чу-Илийских гор, однако и к 2024 г. она не достигла оптимальной численности и отсутствовала во многих местообитаниях, населённых ранее.

Моделирование распространения

Анализ средних значений переменных окружающей среды для 97 точек присутствия беркута на гнездовании в Каратау относительно 58 таковых в Чу-Илийских горах посредством *t*-критерия Стьюдента показал, что они различаются по растительности и климатическим переменным, а также по некоторым геоморфологическим (табл. 2). Несмотря на более или менее одинаковые высоты над уровнем моря (elevation), беркуты в Каратау гнездились в более пересечённой местности, (более высокие показатели *tri*, *slope*, *vrn*, *roughness*), с более густой растительностью (range of *EVI*, *NDVI*) при этом в более высоком температурном диапазоне летом, чем в Чу-Илийских горах.

Из важных переменных, разница средних значений оказалась критически высокой для векторной меры неровности (*vrn*), сложности местности (доля площади со склонами более 30 градусов *RIX*), экспоненциально взвешенной разницы в *EVI* между соседними пикселями (*contrast*) и разбросом комбинаций *EVI* между соседними пикселями (*variance*), которые идентифицируют глубокие ущелья с древесной растительностью. В остальных случаях разница между средними для важных переменных ($n=35$) оказалась в целом не столь высокой ($25,8 \pm 19,1\%$, $0,35-54,24\%$), как это можно

Species distribution modeling

Analysis of mean values of environmental variables for 97 GE breeding territories in Karatau relative to 58 breeding territories in the Chu-Ili Mountains using Student's *t*-test showed that they differ in vegetation and climate variables, as well as in some geomorphological variables (Table 2), despite more or less the similar elevations, GEs in Karatau nested in more rugged terrain (higher *tri*, *slope*, *vrn*, *roughness*), with denser vegetation (range of *EVI*, *NDVI*) and in a higher summer temperature range than in the Chu-Ili Mountains.

Of the important variables, the difference in mean values was critically high for the vector measure of roughness (*vrn*), the measure of how complex the terrain (the proportion of area with slopes greater than 30 degrees *RIX*), the exponentially weighted difference in *EVI* between adjacent pixels (*contrast*), and the spread of *EVI* combinations between neighbouring pixels (*variance*), which identify deep gorges with woody vegetation. In other cases, the mean difference for the important variables ($n=35$) was generally not as high ($25.8 \pm 19.1\%$, $0.35-54.24\%$) as expected. Therefore, we decided not to separate the species distribution modelling into two different fragments but to conduct the analysis to a single extent, including both the Karatau and Chu-Ili Mountains.



Птенцы беркута в гнезде. Доминантом питания является среднеазиатская черепаха (*Testudo [Agrionemys] horsfieldii*). Чу-Илийские горы, 26.05.2024. Фото И. Карякина.

Golden Eagle nestlings in the nest. The dominant food item is the Central Asian Tortoise (*Testudo [Agrionemys] horsfieldii*). Chu-Ili Mountains, 26/05/2024. Photo by I. Karyakin.

Табл. 2. Сравнение ($M \pm SD$, lim) 49 переменных, определяющих качество среды для точек присутствия беркута на гнездовании в Чу-Илийских горах ($n=58$) и Каратау ($n=97$). В таблице показано значение t -критерия Стьюдента для разницы между средними. Важные переменные выделены жирным шрифтом.

Table 2. Comparison ($M \pm SD$, lim) between 49 environment quality variables for 58 Golden Eagle breeding points in Chu-Ili mountains and 97 – in Karatau. The table shows the value of Student's t -test for the difference between the means. Important variables are in bold.

Переменные* Variables*	Чу-Илийские горы / Chu-Ili mountains $n=58$	Каратау / Karatau $n=97$	t -value ($df=153$)	p
elevation	625.93 $\pm$ 228.03 (387–1196)	652.27 $\pm$ 219.19 (245–1404)	-0.7131	0.476895
cti	-0.48 $\pm$ 2.69 (-3.44–+6.50)	-0.69 $\pm$ 3.32 (-4.75–+6.98)	0.4098	0.682537
tri	11.72$\pm$6.70 (1.85–33.06)	24.20$\pm$14.58 (2.73–112.40)	-6.1345	0.000000
slope	7.18$\pm$4.18 (0.96–20.96)	14.85$\pm$8.55 (2.06–54.16)	-6.3863	0.000000
vrms	0.003923$\pm$0.01 (0.000033–0.05)	0.012882$\pm$0.01 (0.00015–0.099)	-4.8693	0.000003
roughness	35.46$\pm$20.33 (6.20–100.26)	75.19$\pm$45.79 (10.94–346.15)	-6.2446	0.000000
tpi	1.12 $\pm$ 5.90 (-19.15–+14.10)	-1.44 $\pm$ 11.35 (-37.61–+31.38)	1.5897	0.113962
spi	0.98 $\pm$ 3.91 (0.00046–27.86)	4.99 $\pm$ 18.55 (0.00054–113.01)	-1.6264	0.105914
aspect	180.54 $\pm$ 107.93 (0–352.84)	192.83 $\pm$ 97.87 (2.79–351.23)	-0.7280	0.467734
cov	652.62$\pm$283.04 (158–1499)	1096.19$\pm$484.56 (292–2475)	-6.3488	0.000000
contrast	33558.2$\pm$66341.7 (767–480584)	124598.4$\pm$137332.7 (3255–644474)	-4.7253	0.000005
corr	1719.36 $\pm$ 1372.24 (-1179–+4666)	2120.67 $\pm$ 1493.00 (-1530–+5622)	-1.6683	0.097292
dissimilarity	11601.07$\pm$8312.09 (767–55538)	23995.72$\pm$13001.06 (3175–65322)	-6.5045	0.000000
entropy	20735.1$\pm$5152.05 (3028–29797)	25662.6$\pm$3816.95 (10233–29854)	-6.8053	0.000000
homogeneity	5761.24$\pm$1524.94 (1650–9617)	3886.63$\pm$1485.32 (1365–8421)	7.5283	0.000000
maximum	2633.14$\pm$1520.38 (775–9233)	1562.55$\pm$942.92 (601–6171)	5.4145	0.000000
mean	1802.10$\pm$655.95 (1022–3631)	2323.82$\pm$640.72 (1262–4317)	-4.8624	0.000003
pielou	8663.67$\pm$930.54 (3680–9723)	9123.45$\pm$678.48 (4495–9780)	-3.5425	0.000526
range	425.34$\pm$294.65 (100–1735)	915.90$\pm$511.81 (144–2752)	-6.6636	0.000000
shannon	13031.8$\pm$4172.9 (2551–24298)	18082.09$\pm$4080.36 (4938–25213)	-7.3939	0.000000
simpson	6642.66$\pm$1378.20 (1323–9017)	7926.91$\pm$1065.17 (2498–9114)	-6.4940	0.000000
sd	122.19$\pm$87.79 (29–533)	267.02$\pm$159.71 (37–910)	-6.3510	0.000000
uniformity	1766.59$\pm$1296.74 (521–8583)	975.02$\pm$649.60 (517–4579)	5.0516	0.000001
variance	21987.0$\pm$40308.01 (364–273779)	90053.5$\pm$114047.20 (1813–745452)	-4.3798	0.000022
air_density_100	1.15 $\pm$ 0.03 (1.08–1.17)	1.14 $\pm$ 0.03 (1.05–1.19)	1.6641	0.098133
wind_speed_100	8.15 $\pm$ 1.78 (2.71–10.20)	7.79 $\pm$ 1.17 (4.13–10.31)	1.4931	0.137477
power_density_100	750.21 $\pm$ 370.99 (36.71–1493.19)	768.56 $\pm$ 319.32 (228.44–1986.73)	-0.3257	0.745124
RIX	0.01$\pm$0.04 (0–0.27)	0.06$\pm$0.07 (0–0.35)	-5.2282	0.000001
bio01	84.78$\pm$8.13 (64–97)	92.11$\pm$10.44 (64–112)	-4.5858	0.000009
bio02	116.59$\pm$1.55 (113–118)	128.98$\pm$2.10 (122–133)	-39.0263	0.000000
bio03	26.43$\pm$0.62 (26–28)	28.77$\pm$1.02 (27–30)	-15.8520	0.000000
bio04	11123.00 $\pm$ 372.78 (10261–11619)	11083.84 $\pm$ 527.82 (10182–12090)	0.4957	0.620815
bio05	305.69$\pm$13.06 (274–321)	328.14$\pm$12.36 (284–350)	-10.7151	0.000000
bio06	-126.71$\pm$5.72 (-139– -116)	-113.32$\pm$12.46 (-140– -87)	-7.7036	0.000000
bio07	432.40$\pm$9.73 (412–445)	441.46$\pm$13.13 (413–465)	-4.5617	0.000010
bio08	93.90$\pm$12.94 (67–143)	98.97$\pm$14.54 (33–115)	-2.1876	0.030215
bio09	202.59$\pm$38.15 (-73–+221)	213.25$\pm$11.34 (177–235)	-2.5734	0.011021
bio10	223.00$\pm$12.09 (192–237)	231.65$\pm$12.06 (193–256)	-4.3167	0.000028
bio11	-63.38$\pm$5.53 (-73– -52)	-54.40$\pm$12.55 (-82– -28)	-5.1527	0.000001
bio12	248.05 $\pm$ 63.00 (191–391)	268.88 $\pm$ 81.10 (159–529)	-1.6757	0.095842
bio13	35.16$\pm$11.51 (25–62)	44.00$\pm$13.58 (23–84)	-4.1470	0.000056
bio14	6.74$\pm$3.80 (4–17)	3.15$\pm$1.13 (2–9)	8.6912	0.000000
bio15	42.41$\pm$1.82 (39–47)	56.32$\pm$3.12 (49–62)	-30.8936	0.000000
bio16	93.60$\pm$29.70 (68–163)	110.82$\pm$34.84 (60–222)	-3.1422	0.002014
bio17	25.03$\pm$11.96 (16–57)	13.47$\pm$5.22 (8–40)	8.3042	0.000000
bio18	39.09$\pm$15.55 (27–81)	19.16$\pm$6.57 (12–55)	11.0874	0.000000
bio19	57.78$\pm$6.26 (49–72)	85.34$\pm$22.18 (54–150)	-9.2377	0.000000
NDVI_04-2000-2003	0.28$\pm$0.08 (0.13–0.49)	0.31$\pm$0.08 (0.17–0.56)	-2.4874	0.013942
NDVI_09-2000-2003	0.16$\pm$0.05 (0.08–0.31)	0.18$\pm$0.03 (0.12–0.26)	-3.0336	0.002840

Примечания / Notes:

* Расшифровка сокращений и описание переменных доступны в Приложении 2¹⁹ / Breakdown of abbreviations and description of variables is available in Appendix 2¹⁹)

Табл. 3. Сравнение ($M \pm SD$, lim) 57 переменных, определяющих качество среды для 155 точек присутствия беркута на гнездовании в Каратау и Чу-Илийских горах и для 155 случайных точек. В таблице показано значение t-критерия Стьюдента для разницы между средними. Важные переменные выделены жирным шрифтом. В базовую модель включены переменные, коэффициент корреляции Спирмена которых < 0.75 . Коды переменных см. в Приложении 2^я.

Table 3. Comparison ($M \pm SD$, lim) between 57 environment quality variables for 155 Golden Eagle breeding points in Karatau and Chu-Ili mountains and 155 random points. The table shows the value of Student's t-test for the difference between the means. Important variables are in bold. The base model includes variables with a Spearman correlation coefficient < 0.75 . See Appendix 2^я for variable codes.

Переменные* Variables*	Отличные от случайных Different from random	Включённые в базовую модель Included in base model	Точки присутствия беркута на гнездовании Presence points of the Golden Eagle during breeding $n=155$	Случайные точки Random points $n=155$	t-value ($df=308$)	p
1	2	3	4	5	6	7
elevation		1	642.41 $\pm$ 222.17 (245–1404)	695.72 $\pm$ 284.06 (148–1629)	1.8404	0.066666
cti			-0.61 $\pm$ 3.09 (-4.75–+6.98)	-0.32 $\pm$ 1.93 (-3.87–+7.52)	0.9830	0.326383
tri	1		19.53 $\pm$ 13.64 (1.85–112.4)	5.55 $\pm$ 6.86 (0.19–39.7)	-11.3989	0.000000
slope	1	1	11.98 $\pm$ 8.12 (0.96–54.16)	3.70 $\pm$ 4.57 (0.06–27.04)	-11.0677	0.000000
vrn	1	1	0.0095 $\pm$ 0.012 (0.000033–0.099)	0.0014 $\pm$ 0.004 (0.000001–0.04)	-8.0900	0.000000
roughness	1		60.33 $\pm$ 42.80 (6.2–346.15)	17.78 $\pm$ 21.48 (0.53–131.42)	-11.0611	0.000000
tpi		1	-0.48 $\pm$ 9.74 (-37.61–+31.38)	0.11 $\pm$ 3.10 (-10.66–+20.12)	0.7204	0.471814
spi	1	1	3.49 $\pm$ 14.96 (0.0005–113.01)	0.03 $\pm$ 0.14 (0.00009–1.18)	-2.8794	0.004264
aspect	1	1	188.23 $\pm$ 101.58 (0–352.84)	151.33 $\pm$ 109.90 (0–336.9)	-3.0699	0.002332
geom	1	1	6.03 $\pm$ 2.08 (2–10)	4.48 $\pm$ 2.57 (1–10)	-5.7973	0.000000
cov	1		930.21 $\pm$ 471.59 (158–2475)	804.46 $\pm$ 546.88 (117–3279)	-2.1680	0.030926
contrast			90531.8 $\pm$ 123853.1 (767–644474)	70940.1 $\pm$ 105609.8 (522–815692)	-1.4985	0.135015
corr		1	1970.50 $\pm$ 1457.56 (-1530–+5622)	2081.36 $\pm$ 1680.72 (-2324–8464)	0.6204	0.535463
dissimilarity	1		19357.72 $\pm$ 12928.63 (767–65322)	16477.00 $\pm$ 11508.67 (522–67241)	-2.0720	0.039094
entropy	1		23818.77 $\pm$ 4962.81 (3028–29854)	22191.32 $\pm$ 6020.93 (1861–29578)	-2.5968	0.009862
homogeneity	1		4588.10 $\pm$ 1750.50 (1365–9617)	5151.42 $\pm$ 1909.09 (1401–9739)	2.7077	0.007154
maximum	1		1963.15 $\pm$ 1296.14 (601–9233)	2508.65 $\pm$ 1722.99 (838–9422)	3.1499	0.001794
mean			2128.60 $\pm$ 692.33 (1022–4317)	2285.86 $\pm$ 748.25 (1149–4721)	1.9206	0.055709
pielou	1		8951.41 $\pm$ 810.73 (3680–9780)	8705.12 $\pm$ 1152.50 (2407–10000)	-2.1760	0.030313
range			732.34 $\pm$ 502.14 (100–2752)	651.59 $\pm$ 444.24 (64–2309)	-1.4994	0.134806
shannon	1		16192.30 $\pm$ 4778.64 (2551–25213)	14972.43 $\pm$ 5056.19 (1668–24135)	-2.1830	0.029789
simpson	1		7446.35 $\pm$ 1341.28 (1323–9114)	7051.28 $\pm$ 1657.15 (1154–9051)	-2.3071	0.021715
sd			212.83 $\pm$ 153.94 (29–910)	188.61 $\pm$ 139.55 (18–827)	-1.4508	0.147846
uniformity	1	1	1271.22 $\pm$ 1016.43 (517–8583)	1659.32 $\pm$ 1457.76 (539–9027)	2.7189	0.006922
variance			64583.4 $\pm$ 99002.3 (364–745452)	51741.1 $\pm$ 82688.97 (277–680890)	-1.2395	0.216104
air_density_50			1.15 $\pm$ 0.03 (1.06–1.2)	1.14 $\pm$ 0.03 (1.04–1.21)	-1.7684	0.077983
air_density_100			1.14 $\pm$ 0.03 (1.05–1.19)	1.14 $\pm$ 0.03 (1.04–1.21)	-1.7678	0.078080
air_density_10			1.15 $\pm$ 0.03 (1.06–1.2)	1.15 $\pm$ 0.03 (1.05–1.21)	-1.7689	0.077905
wind_speed_50	1		6.87 $\pm$ 1.40 (1.94–9.59)	6.22 $\pm$ 1.22 (2.41–10.95)	-4.3695	0.000017
wind_speed_100	1	1	7.92 $\pm$ 1.43 (2.71–10.31)	7.29 $\pm$ 1.29 (2.9–11.26)	-4.0889	0.000055
wind_speed_10	1		5.16 $\pm$ 1.43 (0.94–9.49)	4.48 $\pm$ 1.14 (1.66–10.57)	-4.6677	0.000005
power_density_50	1		594.17 $\pm$ 309.08 (17.7–1833.9)	422.4 $\pm$ 273.4 (54.15–2098.31)	-5.1832	0.000000
power_density_100	1		761.7 $\pm$ 338.5 (36.71–1986.73)	566.5 $\pm$ 305.8 (68.58–1918.65)	-5.3267	0.000000
power_density_10	1	1	341.50 $\pm$ 286.83 (4.31–2163.46)	207.7 $\pm$ 268.6 (26.01–2417.97)	-4.2409	0.000029
RIX	1		0.04 $\pm$ 0.06 (0–0.35)	0.02 $\pm$ 0.05 (0–0.29)	-3.5034	0.000527
bio01			89.37 $\pm$ 10.25 (64–112)	87.14 $\pm$ 13.34 (37–111)	-1.6521	0.099526
bio02			124.34 $\pm$ 6.31 (113–133)	123.75 $\pm$ 6.90 (113–133)	-0.7816	0.435043
bio03			27.90 $\pm$ 1.44 (26–30)	27.86 $\pm$ 1.25 (26–30)	-0.2529	0.800513
bio04		1	11098.5 $\pm$ 474.8 (10182–12090)	11025.1 $\pm$ 475.5 (10173–12096)	-1.3602	0.174764
bio05			319.74 $\pm$ 16.65 (274–350)	316.07 $\pm$ 21.19 (270–354)	-1.6960	0.090898
bio06			-118.33 $\pm$ 12.29 (-140– -87)	-119.65 $\pm$ 13.31 (-165– -90)	-0.9087	0.364208

1	2	3	4	5	6	7
bio07			438.07±12.72 (412–465)	435.72±14.36 (412–465)	-1.5239	0.128556
bio08	1	1	97.07±14.14 (33–143)	90.19±18.65 (35–117)	-3.6615	0.000295
bio09			209.26±25.41 (-73–+235)	208.28±15.06 (159–238)	-0.4133	0.679651
bio10			228.41±12.74 (192–256)	225.26±16.64 (176–259)	-1.8704	0.062382
bio11		1	-57.76±11.33 (-82– -28)	-58.90±12.43 (-106– -31)	-0.8452	0.398681
bio12			261.08±75.31 (159–529)	278.49±82.02 (156–550)	1.9462	0.052543
bio13			40.69±13.51 (23–84)	43.68±13.67 (23–87)	1.9393	0.053378
bio14	1		4.50±3.03 (2–17)	5.50±3.67 (2–15)	2.6162	0.009330
bio15		1	51.12±7.27 (39–62)	51.15±7.07 (40–62)	0.0475	0.962131
bio16	1		104.38±33.96 (60–222)	112.26±35.59 (60–231)	1.9936	0.047077
bio17	1	1	17.80±10.07 (8–57)	20.77±12.22 (6–52)	2.3385	0.020002
bio18	1		26.62±14.49 (12–81)	30.59±17.55 (11–73)	2.1738	0.030480
bio19			75.03±22.36 (49–150)	76.63±21.83 (51–143)	0.6373	0.524383
world_cover	1	1	34.58±10.94 (20–60)	30.97±4.67 (20–60)	-3.7803	0.000188
NDVI_04-2000-2003			0.30±0.08 (0.13–0.56)	0.30±0.09 (0.12–0.53)	0.1164	0.907436
NDVI_09-2000-2003		1	0.17±0.04 (0.08–0.31)	0.17±0.04 (0.09–0.29)	-0.7452	0.456726

было ожидать. Поэтому мы решили не разделять моделирование распространение вида на два разных фрагмента, а проводить анализ для единого экстенда, включающего и Каратау и Чу-Илийские горы.

Анализ средних значений переменных окружающей среды для точек присутствия беркута на гнездовании в Каратау и Чу-Илийских горах посредством *t*-критерия Стьюдента показал, что они значительно отличались от таковых случайных точек. Гнездовые участки беркута были приурочены к более крутым склонам (slope), в более пересеченной местности (tri, vrm, roughness), как правило, к долинам с мощным стоком (spi), и возвышенностям с несколько большей скоростью и мощностью ветра, чем случайные точки (табл. 3). Что касается структуры растительности, то апрельские и сентябрьские показатели вегетационного индекса (NDVI) были схожи в точках присутствия беркута и в случайных точках, но ряд показателей, основанных на расширенном индексе растительности (EVI) для гнездовых участков орлов, отличался от случайных точек (см. табл. 3). Из климатических переменных небольшую разницу (<20%) средних значений между точками присутствия беркута и случайными точками показали средняя температура самого влажного квартала (bio8), осадки самого засушливого месяца (bio14), осадки самого влажного квартала (bio16), осадки самого засушливого квартала (bio17), осадки самого теплого квартала (bio18) (табл. 3).

Для классификации изображений с целью моделирования распространения беркута методом Random Forest (RF) мы подобрали переменные для 4-х моделей (табл. 4, Приложение 2¹⁹):

Analysis of the mean values of environmental variables for the GE presence sites in the Karatau and Chu-Ili Mountains using Student's *t*-test showed that they differed significantly from those of random points. Golden Eagle breeding sites were confined to steeper slopes (slope), in more rugged terrain (tri, vrm, roughness), usually to valleys with more stream power index (spi), and to elevations with slightly higher wind speed and power than random sites (Table 3). As for the vegetation structure, the April and September values of the Normalized Differ-



Птенец беркута в гнезде в речной долине с высокими показателями NDVI. Чу-Илийские горы, 26.05.2024. Фото И. Карякина.

Golden Eagle nestling in the nest in the river valley with high NDVI values. Chu-Ili Mountains, 26/05/2024. Photo by I. Karyakin.

Табл. 4. Список переменных, включённых в четыре набора для моделирования распространения беркута в Каратау и Чу-Илийских горах. Переменные, важные согласно t-критерия Стьюдента, выделены жирным шрифтом.

Table 4. List of variables included in four sets for modeling the Golden Eagle distribution of the Karatau and Chu-Ili mountains. Important variables according Student's t-test are in bold.

Набор данных Earth Remote Sensing Dataset	Переменные* в модели / Variables* in model			
	I	II	III	IV
NASADEM	elevation	elevation	elevation	elevation
Geomorpho90m	cti, tri, slope, aspect, vrm , roughness, tpi, spi, geom	slope, aspect, vrm , tpi, spi, geom	slope, aspect, vrm , tpi, spi, geom	cti, tri, slope, vrm , roughness, tpi, spi, geom
Global Habitat Heterogeneity	cov , contrast, corr, dissimilarity, entropy, homogeneity, maximum , mean, pielou , range, shannon, simpson , sd, uniformity , variance	cov , corr, uniformity	cov , corr, uniformity	cov, dissimilarity, homogeneity, pielou , range, simpson, uniformity
Global Wind Atlas	air_density_10, 50, 100, wind_speed_10, 50, 100, power_density_10, 50, 100, RIX	wind_speed_100, power_density_10	wind_speed_100, power_density_10	air_density_10, wind_speed_100, power_density_10
World Clim	bio01, bio02, bio03, bio04, bio05, bio06, bio07, bio08 , bio09, bio10, bio11, bio12, bio13, bio14 , bio15, bio16, bio17, bio18 , bio19	bio08 , bio11, bio15, bio17	bio08 , bio11, bio15, bio17	bio04, bio05, bio07, bio08 , bio09, bio11, bio12, bio13, bio16, bio17
ESA WorldCover 10m v100	WC_class	WC_class	WC_class	
MODIS Terra Vegetation Indices	NDVI_04-2020-23, NDVI_09-2020-23	NDVI_09-2020-23	NDVI_04-2020-23, NDVI_09-2020-23	NDVI_04-2020-23

Примечания / Notes:

* Расшифровка сокращений и описание переменных доступны в Приложении 2¹⁹ / Breakdown of abbreviations and description of variables is available in Appendix 2¹⁹)

Табл. 5. Результаты кросс-валидации моделей. Жирным шрифтом выделены лучшие модели.

Table 5. Results of models cross-validation. Bold indicates the best models.

Результаты кросс-валидации Results of models cross-validation	Код модели / Code of model			
	M I	M II	M III	M IV
Ошибка бэггинга / outOfBagErrorEstimate	0.076	0.084	0.076	0.070
AUC	0.991	0.982	0.988	0.984
Коэффициент детерминации регрессии по обучающей выборке Training regression R ²	0.89	0.87	0.88	0.88
Коэффициент детерминации регрессии по тестовой выборке Validation regression R ²	0.79	0.75	0.76	0.80
Max Кappa	0.896	0.880	0.938	0.938
Max Кappa Cutoff	54.17	50.0	41.67	41.67
Max ccr	0.953	0.944	0.972	0.972
Max ccr cutoff	54.17	54.17	41.67	41.67

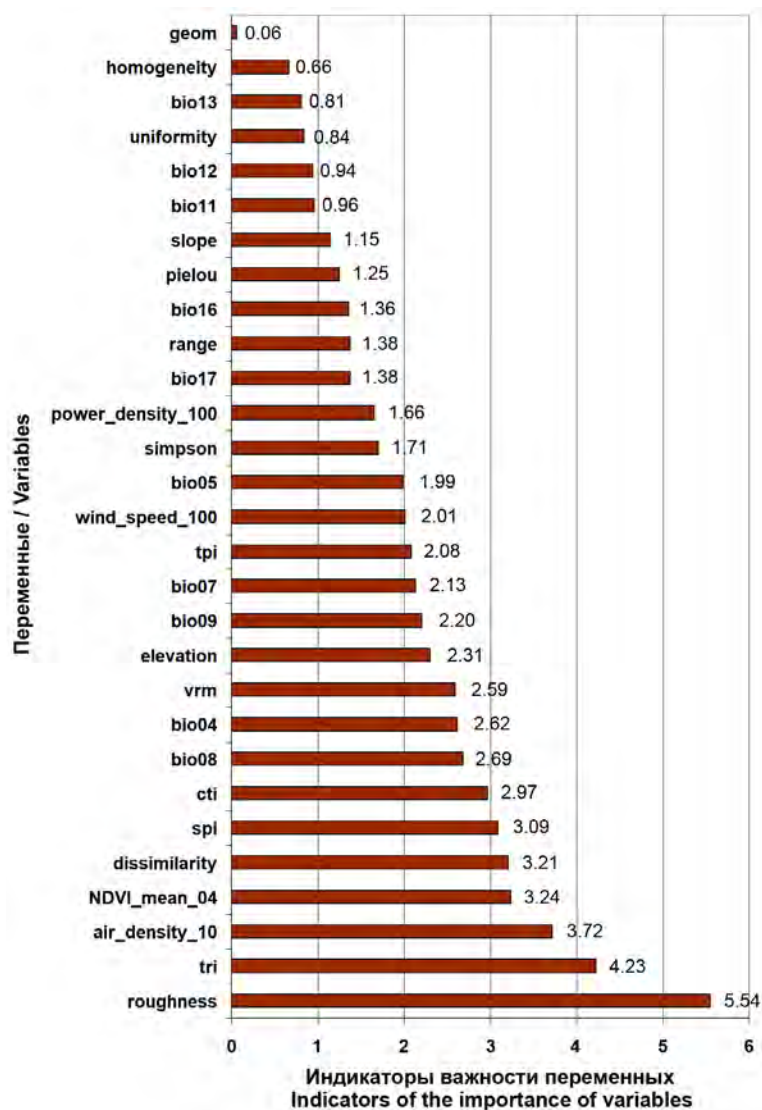


Рис. 6. Оценка важности переменных в Random Forest для модели M IV.

Fig. 6. Estimating the importance of variables in Random Forest for model M IV.

ence Vegetation Index (NDVI) were similar at the GE presence sites and random sites, but several values based on the Enhanced Vegetation Index (EVI) for eagle nesting sites differed from random sites (see Table 3). Of the climatic variables, a slight difference (<20%) in the mean values between the points of GE presence and random points was shown by the Mean temperature of the wettest quarter (bio8), Precipitation of driest month (bio14), Precipitation of wettest quarter (bio16), Precipitation of driest quarter (bio17), Precipitation of warmest quarter (bio18) (Table 3).

To classify images to model the distribution of the GE using the Random Forest method (RF), we selected variables for four models (Table 4, Appendix 2¹⁹):

- Model 1 (M I) includes 58 variables¹⁹ from 7 remote sensing products without taking into account multicollinearity and importance according to Student's *t*-test,

- Model 2 (base model, M II) includes 18 variables¹⁹: 12 important variables according to Student's *t*-test for the sample of presence points and random (multicollinear variables are absent) + 6 unimportant, but not correlating with important ones,

- Model 3 (M III) includes 19 variables¹⁹: all variables from Model II + NDVI 04,

- Model 4 (M IV) includes 29 variables¹⁹: 14 important variables according to Student's *t*-test for the sample of presence points and random + 15 unimportant (multicollinear variables are present).

Cross-validation showed the best result for M IV (Table 5). The bagging error (OOBE) for 20 trees RF probability was 0.07.

In almost all model variants, the important variables were surface wind power or air density, wind speed at a height of 100 m and topographic characteristics of terrain roughness. In the best model M IV, wind speed at the height of 100 m was not among the important variables, and surface Roughness (roughness), Terrain ruggedness index (tri), surface Air density (air_density_10), Normalized Difference Vegetation Index in April (NDVI_mean_04), difference of the EVI between adjacent pixels (dissimilarity), Stream power index (spi), Compound topographic index (cti), Mean temperature of wettest quarter (bio08), Temperature seasonality (bio04) and Vector rug-

- Модель 1 (M I) включает 58 переменных из 7 продуктов ДЗЗ¹⁹ без учёта мультиколлинеарности и важности по *t*-критерию Стьюдента,

- Модель 2 (базовая модель, M II) включает 18 переменных¹⁹: 12 важных переменных по *t*-критерию Стьюдента для выборки точек присутствия и случайных (мультиколлинеарные переменные отсутствуют) + 6 неважных, но не коррелирующих с важными,

- Модель 3 (M III) включает 19 переменных¹⁹: все переменные из модели II + NDVI 04,

- Модель 4 (M IV) включает 29 переменных¹⁹: 14 важных переменных по *t*-критерию Стьюдента для выборки точек присутствия и случайных + 15 неважных (присутствуют мультиколлинеарные переменные).

Перекрёстная проверка показала лучший результат для M IV (табл. 5). Ошибка бэггинга (Out-of-bag Error, OOBE) для 20 деревьев RF вероятности составила 0,07.

Практически во всех вариантах моделей важными переменными являлись приземная мощность ветра или плотность возду-

ха, скорость ветра на высоте 100 м и топографические характеристики неровности рельефа. В лучшей модели М IV скорость ветра на высоте 100 м выпала из важных переменных, а неровность поверхности (roughness), индекс пересечённости местности (tri), приземная плотность воздуха (air_density_10), нормализованный разностный индекс растительности в апреле (NDVI_mean_04), разница расширенного индекса растительности EVI между соседними пикселями (dissimilarity), индекс мощности стока (spi), составной топографический индекс (cti), средняя температура самого влажного квартала (bio08), сезонность температуры (bio04) и векторная мера неровности поверхности (vrn) оказались переменными, определяющими распределение беркута в Каратау и Чу-Илийских горах (рис. 6).

Примечательно, что RF в М IV определил в качестве важной переменной для точек

gedness measure (vrn) turned out to be variables determining the distribution of the GE in the Karatau and Chu-Ili Mountains (Fig. 6).

It is noteworthy that RF in М IV identified the vegetation index as an important variable for the GE presence points, which showed no difference between the presence points and random points according to Student's *t*-test, but turned out to have a significant difference in means relative to the GE absence points.

The RF regression graphs for the training and training samples of М IV are shown in Figure 7, and the accuracy estimates for all four models using AUC-ROC are shown in Fig. 8.

We created the resulting raster for М IV based on the probability of GE presence in the range from 50% to 100% (Fig. 9, Appendix 3²⁸). The area of biotopes suitable for breeding for GE, according to this classified image, was 18209.9 km², including 14587.5 km² in Karatau and 3622.4 km² in the Chu-Ili Mountains (Fig. 9). To construct habitats, we used different buffer parameters based on the average distances between the nearest neighbours in Karatau (6.49/2 = 3.25 km) and the Chu-Ili Mountains (9.31/2 = 4.66 km). Thus, the area of GE habitats in Karatau was 41826.44 km², in the Chu-Ili Mountains – 25775.99 km², and the total area of habitats in the territory under consideration was 67602.43 km² (Fig. 9).

Population assessment

Of the 120 breeding territories (bt) of the GE identified in Karatau (80 bt) and the Chu-Ili Mountains (40 bt), 111 were found on survey plots, and nine beyond them, mainly on transit routes, all in Karatau. In the Chu-Ili Mountains, all known breeding territories of the GE are localised only on plots (Fig. 10).

The density of GEs breeding on the plots (excluding overlapping of their territories in different years) was 0–4.74, on average ($n=36$, $M \pm SE$) 0.92 ± 0.21 pairs/100 km², in habitats on the plots – 0–4.75, on average 1.17 ± 0.17 pairs/100 km², in breeding biotopes on the plots – 0–51.28, on average 3.82 ± 0.09 pairs/100 km² (Table 6). Without taking into account plots with zero values, i.e. those where the GE was not encountered, the average density values for the total survey area, habitats and breeding biotopes were as follows ($n=32$, $M \pm SE$): 0.99 ± 0.22 pairs/100 km² (0.27–4.74

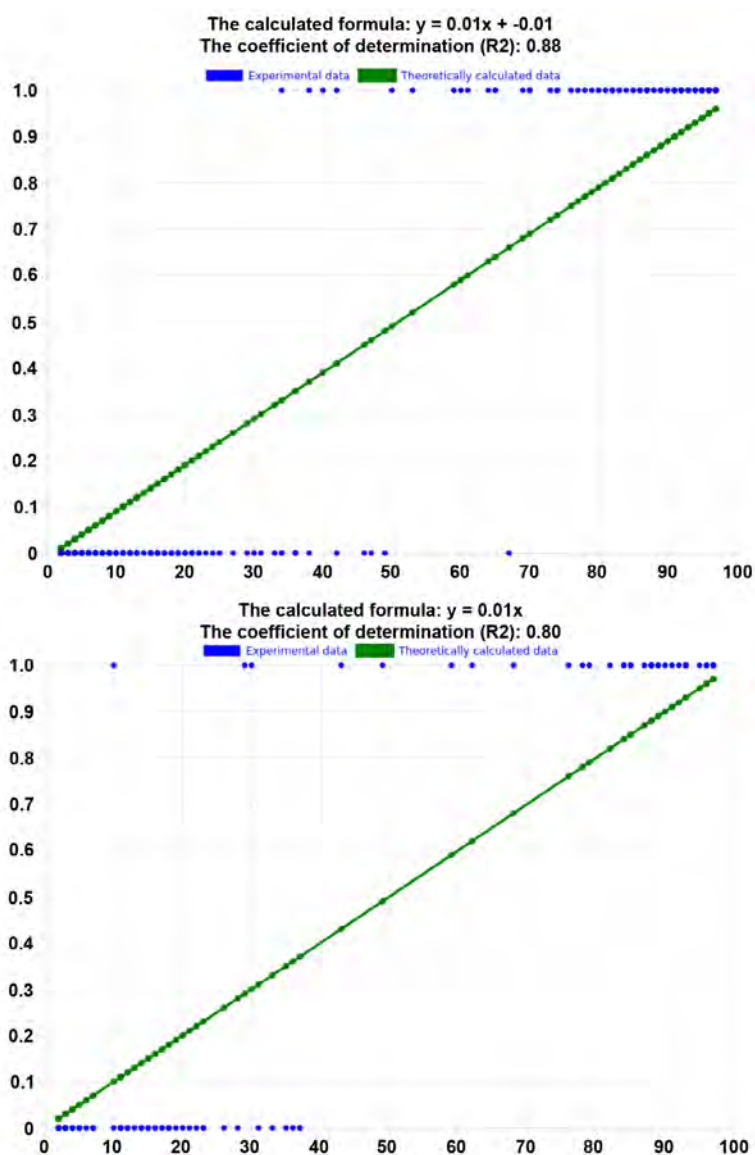


Рис. 7. Графики регрессии по обучающей и тренировочной выборкам для М IV в Random Forest.

Fig. 7. Graphs of regression on learning and training samples for М IV in Random Forest.

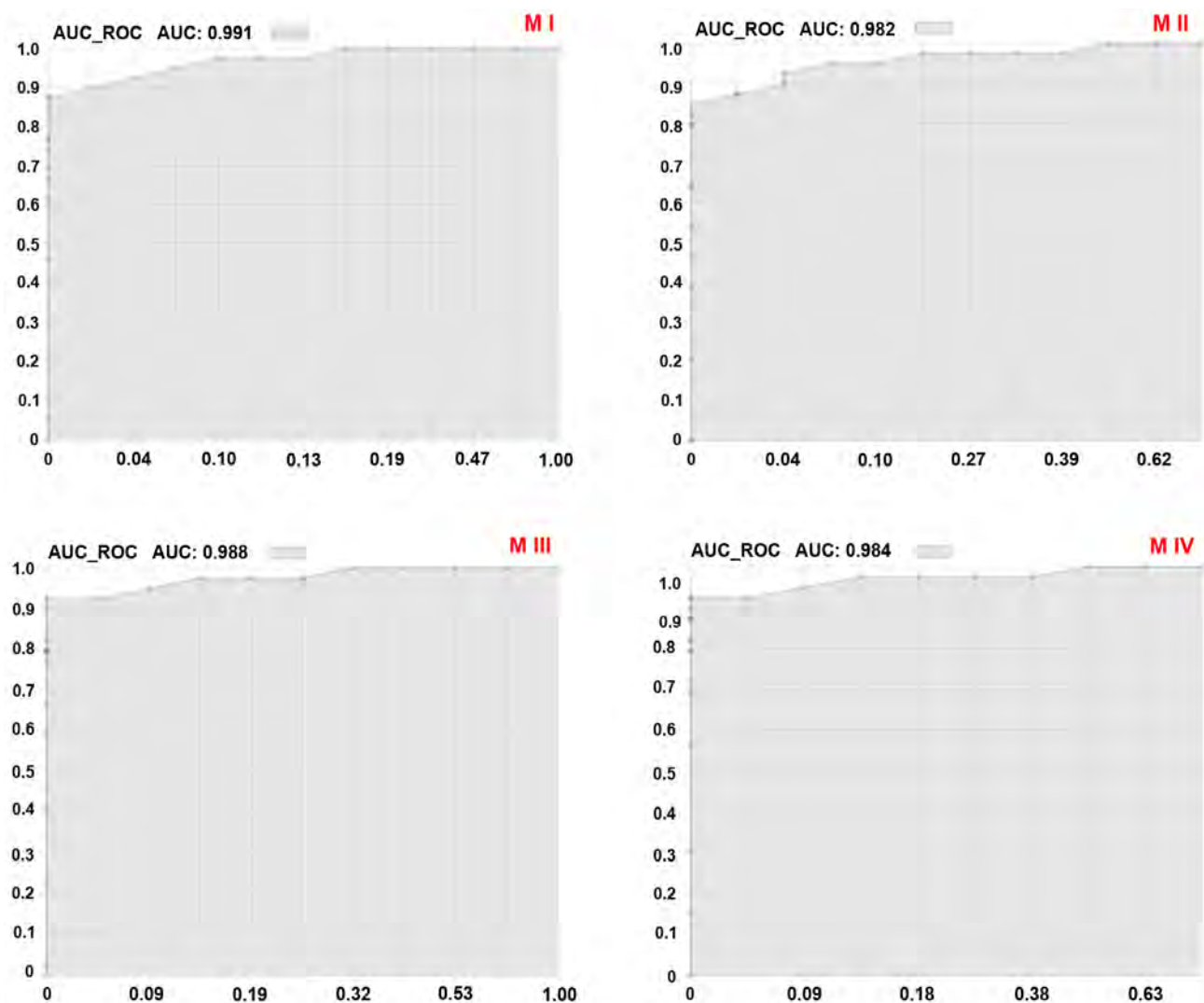


Рис. 8. Графики оценки точности всех моделей посредством AUC-ROC для Random Forest.

Fig. 8. Graphs estimates of all models accuracy by AUC-ROC for Random Forest.

присутствия беркута вегетационный индекс, который не показал разницы между точками присутствия и случайными точками по t -критерию Стьюдента, но оказался со значимой разницей средних относительно точек отсутствия беркута.

Графики регрессии RF по обучающей и тренировочной выборкам M IV показаны на рисунке 7, оценки точности всех 4-х моделей посредством AUC-ROC – на рисунке 8.

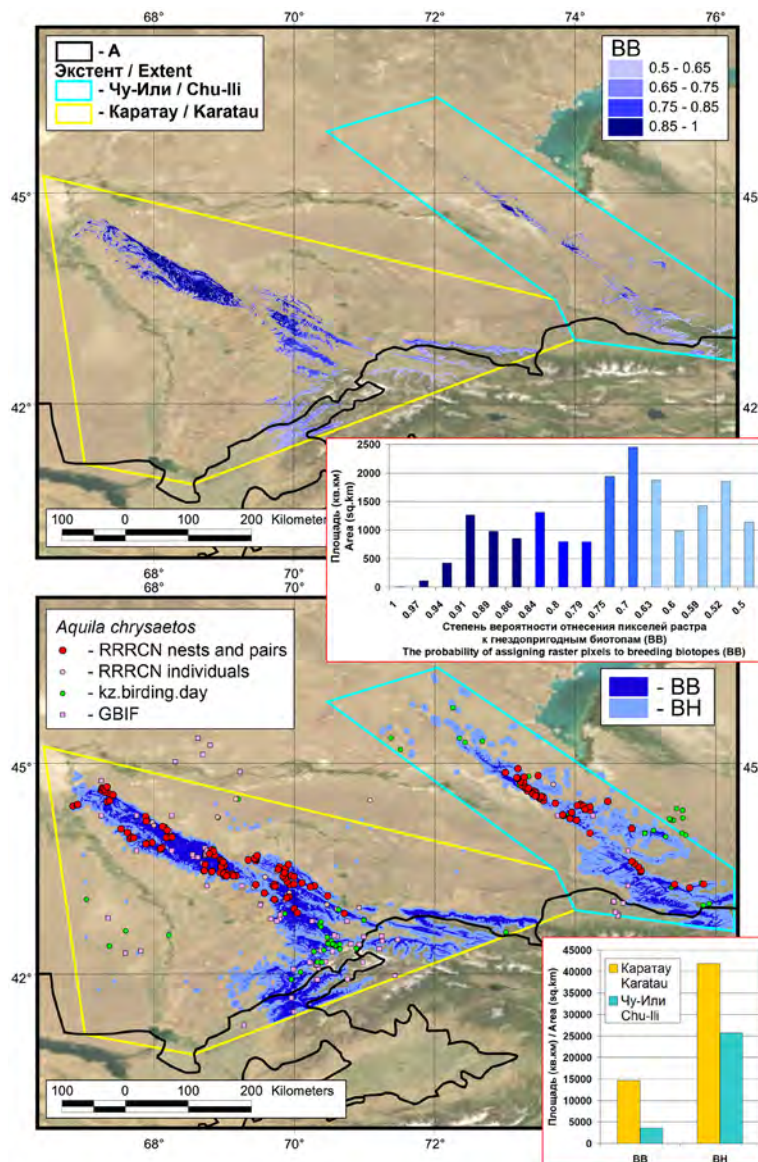
Мы вывели результирующий растр для M IV по вероятности присутствия беркута в диапазоне от 50 до 100%; (рис. 9, Приложение 3²⁸). Площадь гнездопригодных для беркута биотопов, согласно этому классифицированному изображению, составила 18209,9 км², в том числе 14587,5 км² – в Каратау и 3622,4 км² – в Чу-Илийских горах (рис. 9). Для построения местообитаний мы использовали разные параметры буфера, исходя из средних дистанций между ближайшими соседями в Каратау ($6,49/2=3,25$

pairs/100 км²), $1,20\pm0,18$ pairs/100 км² (0.4–4.75 pairs/100 км²) and $3,87\pm0,09$ pairs/100 км² (1.47–51.28 pairs/100 км²), respectively. For population estimation, we separated the calculation of density indices for Karatau and the Chu-Ili Mountains since the samples of average density values in Karatau ($n=29$, $M\pm SE$ $1,40\pm0,17$ pairs/100 км²) and the Chu-Ili Mountains ($n=7$, $M\pm SE$ $0,5\pm0,11$ pairs/100 км²) showed a reliable difference ($t=2,57$, $df=34$, $p=0,015$).

To avoid overestimating the density of breeding GEs by re-counting their nesting sites in duplicate fragments of the survey areas in different years, we geometrically combined the sites, thus eliminating the overlap of their territories. Next, we calculated the density of actual breeding territories in the summarised survey area, habitats, and breeding biotopes. The data are shown in Table 7.

Thus, in the combined sites in Karatau ($n=17$), the average density of breeding GEs

²⁸ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App3-mapsAC.zip>



км) и Чу-Илийских горах (9,31/2=4,66 км). Таким образом, площадь местообитаний беркута в Каратау составила 41826,44 км², в Чу-Илийских горах – 25775,99 км², а общая площадь местообитаний на рассматриваемой территории – 67602,43 км² (рис. 9).

Оценка численности

Из 120 гнездовых участков беркута, выявленных в Каратау (80 участков) и Чу-Илийских горах (40 участков), 111 были обнаружены на учётных площадках, а 9 за их пределами, преимущественно на транзитных маршрутах, причём все в Каратау; в Чу-Илийских горах все известные гнездовые участки беркута локализованы только на площадках (рис. 10).

Плотность беркута на гнездовании на площадках (без учёта перекрытия их территорий в разные годы) составила 0–4,74, в среднем ($n=36$, $M \pm SE$) $0,92 \pm 0,21$ пар/100 км², в местообитаниях на площадках – 0–4,75, в

Рис. 9. Гнездопригодные для беркута биотопы в Каратау, Чу-Илийских горах и на прилегающих территориях, выделенные по результатам анализа модели M IV в Random Forest. Условные обозначения: А – границы стран; ВВ – гнездопригодные биотопы, ранжированные по вероятности присутствия вида (вверху) и не ранжированные (внизу); ВН – местообитания; точки присутствия беркута: RRRCN – гнездовые записи авторов, по которым осуществлялось моделирование распространения вида, из базы данных Российской сети изучения и охраны пернатых хищников, GBIF – данные, извлеченные из Глобальной информационной системы по биоразнообразию (все сезоны), kz.birding.day – данные, извлечённые с сайта Казахстанского сообщества наблюдателей птиц (все сезоны).

Fig. 9. Breeding biotopes of the Golden Eagle in Karatau, Chu-Ili mountains and adjacent areas identified from model M IV in Random Forest analysis. Legend: A – country borders, BB – breeding biotopes, ranked by probability of species presence (at the upper) and not ranked (at the bottom); BH – habitats; points of Golden Eagle presence: RRRCN – breeding records (from the RRRCN Data Base) by authors on which Golden Eagle distribution was modeled, GBIF – data from the Global Biodiversity Information Facility (all seasons), kz.birding.day – birdwatchers' data on Golden Eagle records from the Kazakhstan birdwatching community website (all seasons).

for the total count area was ($M \pm SE$) 1.13 ± 0.21 pairs/100 km² (range 0–3.3, confidence interval 0.84–1.53 pairs/100 km²), for the habitat area – 1.37 ± 0.17 pairs/100 km² (range 0–3.3, confidence interval 1.08–1.74 pairs/100 km²), for the area of suitable breeding biotopes – 3.27 ± 0.12 pairs/100 km² (range 0–12.84, confidence interval 2.75–3.88 pairs/100 km²). In the Chu-Ili Mountains ($n=6$), these indicators were as follows: for the total count area ($M \pm SE$) – 0.48 ± 0.09 pairs/100 km² (range 0.27–0.67, confidence interval 0.42–0.55 pairs/100 km²), for the area of habitats – 0.65 ± 0.09 pairs/100 km² (range 0.4–1.01, confidence interval 0.57–0.75 pairs/100 km²), for the area of suitable breeding biotopes – 3.82 ± 0.25 pairs/100 km² (range 1.5–10.1, confidence interval 2.71–5.38 pairs/100 km²), respectively (Table 7).

Direct extrapolation of the average density (and asymmetric confidence interval) of the GE bt in the habitats on the plots (Karatau – 4813.65 km², Chu-Ili Mountains – 5527.62 km²) to the total area of habitats in Karatau (41826.44 km²) and the Chu-Ili Mountains (25775.99 km²) suggests an estimate of the number of GE breeding in Karatau at 573 pairs (from 451 to 729 pairs), in the Chu-Ili Mountains – at 168 pairs (from 146 to 193 pairs). Extrapolation of similar indicators of GE density in suitable breeding biotopes on the plots (Karatau – 2021.12 km², Chu-Ili Moun-

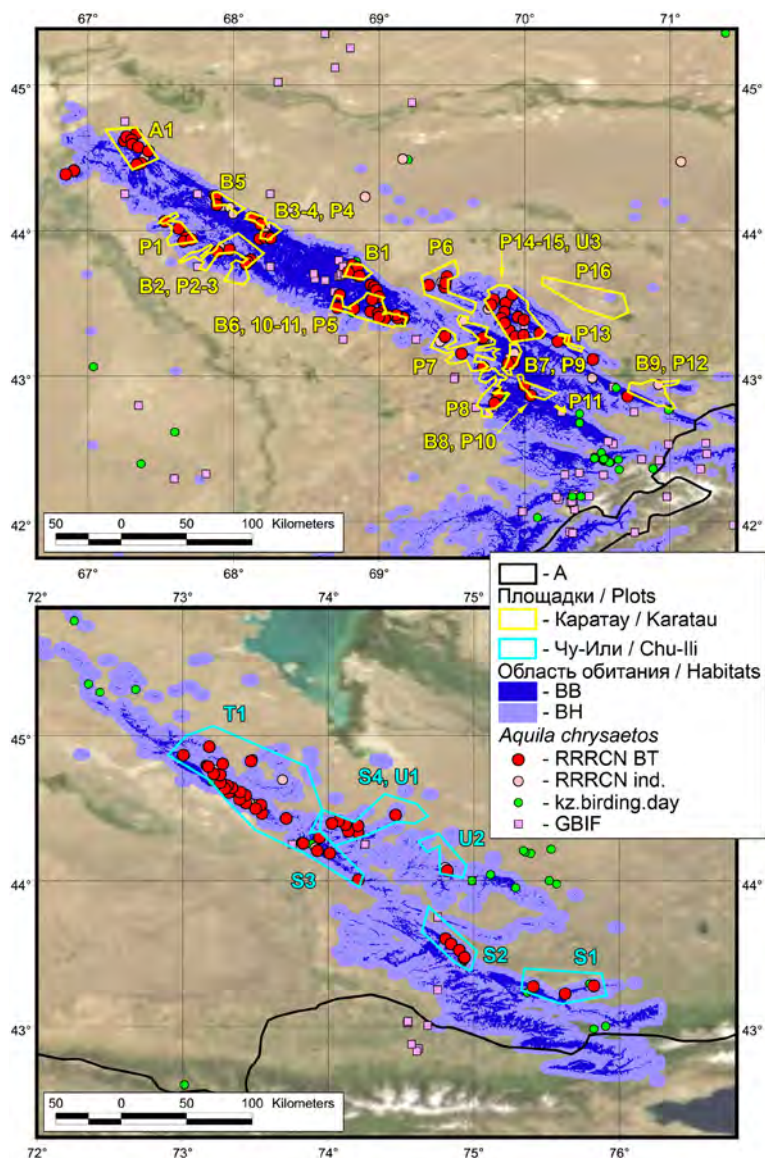


Рис. 10. Распределение гнездовых участков и встреч беркута на учётных площадках в Каратау (вверху) и Чу-Илийских горах (внизу). Условные обозначения: А – границы стран; BB – гнездопригодные биотопы; BH – местообитания; точки присутствия беркута: RRRCN BT – гнездовые участки (гнезда и пары) и RRRCN ind. – встречи одиночных орлов (наблюдения авторов из базы данных Российской сети изучения и охраны пернатых хищников), GBIF – данные, извлеченные из Глобальной информационной системы по биоразнообразию (все сезоны), kz.birding.day – данные, извлечённые с сайта Казахстанского сообщества наблюдателей птиц (все сезоны). Нумерация площадок соответствует нумерации в табл. 6–7.

Fig. 10. Distribution of breeding territories and individuals of the Golden Eagle at survey plots in Karatau (at the upper) and the Chu-Ili Mountains (at the bottom). Legend: A – country borders, BB – breeding biotopes; BH – habitats; points of Golden Eagle presence: RRRCN BT – breeding territories (nests and pairs) and RRRCN ind. – individual records (from the RRRCN Data Base by authors), GBIF – data from the Global Biodiversity Information Facility (all seasons), kz.birding.day – birdwatchers' data on Golden Eagle records from the Kazakhstan birdwatching community website (all seasons). Plots numbering corresponds to that in tables 6–7.

среднем $1,17 \pm 0,17$ пар/100 км², в гнездопригодных биотопах на площадках – $0-51,28$, в среднем $3,82 \pm 0,09$ пар/100 км² (табл. 6). Без учёта площадок с нулевыми значениями, т.е. тех, на которых беркут не встречен, средние показатели плотности для общей учётной площади, местообитаний и гнездопригодных биотопов получены следующие ($n=32$, $M \pm SE$): $0,99 \pm 0,22$ пар/100 км² ($0,27-4,74$ пар/100 км²), $1,20 \pm 0,18$ пар/100 км² ($0,4-4,75$ пар/100 км²) и $3,87 \pm 0,09$ пар/100 км² ($1,47-51,28$ пар/100 км²) соответственно.

Для целей оценки численности мы разделили расчёт показателей плотности для Каратау и Чу-Илийских гор, так как выборки средних значений плотности в Каратау ($n=29$, $M \pm SE$ $1,40 \pm 0,17$ пар/100 км²) и в Чу-Илийских горах ($n=7$, $M \pm SE$ $0,5 \pm 0,11$ пар/100 км²) показали надёжную разницу ($t=2,57$, $df=34$, $p=0.015$).

Чтобы не завышать показатели плотности гнездящихся беркутов, за счёт повтор-

таин – 941.95 км²) to the total area of suitable breeding biotopes (Karatau – 14587.5 км², Chu-Ili Mountains – 3622.4 км²) gives an estimate of the number in Karatau and the Chu-Ili Mountains of 476 pairs (from 401 to 566 pairs) and 138 pairs (from 98 to 195 pairs), respectively (Table 8).

Summarising the estimates obtained based on density indicators with a minor error (density in breeding biotopes for Karatau is 3.27 ± 0.12 pairs/100 км² and density in habitats for the Chu-Ili Mountains is 0.65 ± 0.09 pairs/100 км²) allows us to estimate the number of GEs in the territory under consideration at 547–759, with an average of 644 pairs.

Construction of a diagram of potential nesting sites of the GE (a network of points based on the range of distances between the nearest neighbours) with validation by sites allows us to fit 767 points in the contour of breeding biotopes suitable for this species in the study area in the best model (684–1277 for 100 runs of the algorithm). The population estimate for the model with average indicators is 833 ± 79.9 (577–1499) points. The details of this calculation for the averaged model are given in Table 9. The minimum and average distances between the points of GE presence in the validation set were 1.7 and 6.6 km in the resulting layer of generated points for the best model – 2.5 and 8.7 km, respectively. In this case, we do not consider the areas abandoned by eagles, taking the maximum indicators and calculating the number of the spe-

Табл. 6. Результаты учёта гнездящихся беркутов на площадках в Каратау и Чу-Илийских горах в 2005–2024 гг. Нумерация площадок соответствует таковой на рис. 1 и 10. Принятые сокращения: ПІ – учётные площадки, ВН – местообитания, ВВ – гнездопригодные биотопы, ОБТ – занятые гнездовые участки, плотность – плотность занятых гнездовых участков.

Table 6. Results of breeding Golden Eagles surveying on plots in Karatau and Chu-Ili Mountains in 2005–2024. Plots numbering corresponds to that in figures 1 and 10. Accepted abbreviations: ПІ – surveyed plots, ВН – breeding habitats, ВВ – breeding biotopes, ОБТ – occupied breeding territories, density – the density of occupied breeding territories.

Код площадки Code of plot	Год Year	Площадь (км ²) / Area (km ²)				Плотность (пар/100 км ²) Density (pairs/100 km ²)		
		ПІ	ВН	ВВ	ОБТ	ПІ	ВН	ВВ
A1	2005	491.96	420.58	170.85	9	1.83	2.14	5.27
B1	2010	121.20	121.24	92.06	4	3.30	3.30	4.34
B2	2010	306.19	306.34	158.16	5	1.63	1.63	3.16
B3	2010	44.28	44.30	24.17	1	2.26	2.26	4.14
B4	2010	80.82	71.01	71.94	2	2.47	2.82	2.78
B5	2010	117.97	117.91	70.59	2	1.70	1.70	2.83
B6	2010	99.13	97.13	90.58	3	3.03	3.09	3.31
B7	2010	55.23	52.81	51.30	2	3.62	3.79	3.90
B8	2010	121.06	121.15	66.95	2	1.65	1.65	2.99
B9	2010	40.21	40.25	3.16	0	0	0	0
B10	2010	155.00	155.01	131.75	5	3.23	3.23	3.80
B11	2010	126.47	126.42	63.11	6	4.74	4.75	9.51
P1	2022	218.05	216.74	59.72	4	1.83	1.85	6.70
P2	2022	184.61	177	76.78	2	1.08	1.13	2.60
P3	2022	192.41	162.04	59.92	3	1.56	1.85	5.01
P4	2022	84.18	81.92	61.61	3	3.56	3.66	4.87
P5	2022	359.67	357.07	236.30	10	2.78	2.80	4.23
P6	2022	488.84	405.34	45.55	4	0.82	0.99	8.78
P7	2022	654.85	636.1	207.93	4	0.61	0.63	1.92
P8	2022	321.39	318.68	136.08	2	0.62	0.63	1.47
P9	2022	110.46	106.33	89.09	2	1.81	1.88	2.24
P10	2022	68.97	69.01	33.01	2	2.90	2.90	6.06
P11	2022	9.22	9.23	6.17	0	0	0	0
P12	2022	317.40	228.92	39.28	0	0	0	0
P13	2022	41.06	41.08	7.79	1	2.44	2.43	12.84
P14	2022	71.31	71.34	23.42	1	1.40	1.40	4.27
P15	2022	357.25	345.13	106.75	4	1.12	1.16	3.75
P16	2022	711.88	38.23	0.18	0	0	0	0
U3	2024	748.73	742.84	327.06	11	1.47	1.48	3.36
Каратау / Karatau	2005–2024	6699.79	5681.15	2511.26	94	1.40±0.17	1.65±0.13	3.74±0.09
S1	2009	952.01	601.63	155.77	3	0.32	0.50	1.93
S2	2009	621.61	526.32	123.99	4	0.64	0.76	3.23
S3	2009	562.55	563.04	200.04	3	0.53	0.53	1.50
S4	2009	134.13	109.29	3.90	2	1.49	1.83	51.28
T1	2023	3959.20	2894.31	377.10	18	0.45	0.62	4.77
U1	2024	1043.56	695.31	69.30	7	0.67	1.01	10.10
U2	2024	376.06	247.01	15.75	1	0.27	0.40	6.35
Чу-Или / Chu-Ili	2009–2024	7649.12	5636.91	945.85	38	0.50±0.11	0.67±0.10	4.02±0.24
Всего / Среднее Total / Average	2005–2024	14348.90	11318.06	3457.11	132	0.92±0.21	1.17±0.17	3.82±0.09

Табл. 7. Результаты учёта гнездящихся беркутов на объединённых учётных площадках в Каратау и Чу-Илийских горах в 2005–2024 гг. Нумерация площадок соответствует таковой на рис. 1 и 10. Принятые сокращения: PI – учётные площадки, BH – местообитания, BB – гнездопригодные биотопы, OBT – занятые гнездовые участки, плотность – плотность занятых гнездовых участков.

Table 7. Results of breeding Golden Eagles surveying on the united plots in Karatau and Chu-Ili Mountains in 2005–2024. Plots numbering corresponds to that in figures 1 and 10. Accepted abbreviations: PI – surveyed plots, BH – breeding habitats, BB – breeding biotopes, OBT – occupied breeding territories, density – the density of occupied breeding territories.

Код площадки Code of plot	Год Year	Площадь (км ²) / Area (km ²)			OBT	Плотность (пар/100 км ²) Density (pairs/100 km ²)		
		PI	BH	BB		PI	BH	BB
A1	2005	491.96	420.58	170.85	9	1.83	2.14	5.27
B1	2010	121.24	121.24	92.06	4	3.30	3.30	4.35
B2, P2, P3	2010, 2022	596.72	558.54	240.64	5	0.84	0.90	2.08
B3, B4, P4	2010, 2023	152.39	143.07	110.40	3	1.97	2.10	2.72
B5	2010	118.01	117.91	70.59	2	1.69	1.70	2.83
B6, B10, B11, P5	2010, 2023	488.06	483.69	334.93	13	2.66	2.69	3.88
B7, P9	2010, 2023	113.49	109.30	90.99	2	1.76	1.83	2.20
B8, P10	2010, 2023	141.74	141.74	66.73	2	1.41	1.41	3.00
B9, P12	2010, 2023	333.11	244.39	40.02	0	0	0	0
P1	2022	218.19	216.74	59.72	4	1.83	1.85	6.70
P6	2022	488.98	405.34	45.55	4	0.82	0.99	8.78
P7	2022	655.17	636.10	207.93	4	0.61	0.63	1.92
P8	2022	321.61	318.68	136.08	2	0.62	0.63	1.47
P11	2022	9.23	9.23	6.17	0	0	0	0
P13	2022	41.08	41.08	7.79	1	2.43	2.43	12.84
P14, P15, U3	2022, 2024	820.07	807.79	340.50	11	1.34	1.36	3.23
P16	2022	711.98	38.23	0.18	0	0	0	0
Каратау	2005–2024	5823.03	4813.65	2021.12	66	1.13±0.21	1.37±0.17	3.27±0.12
S1	2009	952.01	601.63	155.77	3	0.32	0.50	1.93
S2	2009	621.61	526.32	123.99	4	0.64	0.76	3.23
S3	2009	562.55	563.04	200.04	3	0.53	0.53	1.50
S4, U1	2009, 2024	1043.56	695.31	69.30	7	0.67	1.01	10.10
T1	2023	3959.20	2894.31	377.10	18	0.45	0.62	4.77
U2	2024	376.06	247.01	15.75	1	0.27	0.40	6.35
Чу-Или	2009–2024	7514.98	5527.62	941.95	36	0.48±0.09	0.65±0.09	3.82±0.25
Итого	2005–20224	13338.01	10341.27	2963.07	102.00	0.76±0.21	0.99±0.17	3.44±0.11

ного учёта их гнездовых участков на дублирующихся фрагментах учётных площадей в разные годы, мы геометрически объединили площадки, избавившись, таким образом, от перекрытия их территорий. Далее мы рассчитали плотность истинных гнездовых участков на суммированной учётной площади, в местообитаниях и гнездопригодных биотопах. Данные отображены в таблице 7.

Таким образом, на объединённых площадках в Каратау ($n=17$) средняя плотность беркута на гнездовании для общей учётной площади составила ($M \pm SE$) $1,13 \pm 0,21$ пар/100 км² (разброс 0–3,3, доверительный интервал 0,84–1,53 пар/100 км²), для площади местообитаний – $1,37 \pm 0,17$

как и в конце 2010 г. При применении разрежения точечного рисунка, соответствующего выявленной редукции в числе занятых гнездовых участков на 7,5%, мы получаем показатели, сопоставимые с современными результатами оценки численности по учётным площадкам – 709 точек в лучшей модели (633–1181 для 100 прогонов алгоритма).

Для лучшей валидации схемы потенциальных гнездовых территорий беркута, мы построили сеть полигонов Тиссен вокруг 120 гнездовых точек на и вне территории (Приложение 4²⁹). На основе результатов обследований 2005–2024 гг., общая площадь, занятая полигонами Тиссен, составила 13,125,25 км². Площадь территории на одну гнездовую территорию (полигон Тиссен) варьировала от 15,2 до

Табл. 8. Результаты оценки численности балобана в Каратау и Чу-Илийских горах разными методами. Принятые сокращения: TA – общая площадь территории (км²), BH – площадь местообитаний (км²), BB – площадь гнездопригодных биотопов (км²), BP – гнездящиеся пары, SP – успешные пары, AB – взрослые особи, участвующие в размножении, SP – успешные пары, JB – слётки текущего года, SB – неразмножающиеся, преимущественно молодые птицы прошлых лет, All – все птицы разных возрастных групп, PL-TA – экстраполяция плотности гнездовых участков на площадках на общую площадь, PL-BH – экстраполяция плотности гнездовых участков в местообитаниях на площадках на общую площадь местообитаний, PL-BB – экстраполяция плотности гнездовых участков в гнездопригодных биотопах на площадках на общую площадь гнездопригодных биотопов, RPG-valid. Th.ver. – генерация случайных точек с валидацией по полигонам Тиссена в модели по средним показателям, RPG-valid.Th.best – генерация случайных точек с валидацией по полигонам Тиссена в лучшей модели.

Table 8. Results of Saker Falcon abundance estimation for Karatau and Chu-Ili Mountains by different methods. Accepted abbreviations: TA – Total area of the territory (km²), BH – Habitat area (km²), BB – Area of breeding biotopes (km²), BP – Breeding pairs, SP – Successful pairs, AB – Adults participating in breeding, SP – Successful pairs, JB – Juveniles of the current year, SB – Non-breeding, mainly immature birds of previous years, All – All birds of different age groups, PL-TA – Extrapolation of breeding pairs (bp) density on plots to the total area, PL-BH – Extrapolation of breeding pairs (bp) density in habitats on plots to all habitat areas, PL-BB – Extrapolation of breeding pairs (bp) density in breeding biotopes on plots to all areas of breeding biotopes, RPG-valid. Th.ver. – Random point generation with Thiessen polygon validation in the model by average indicators, RPG-valid.Th.best – Random point generation with Thiessen polygons validation in the best model.

		Метод оценки численности / Population estimation method				
Регион / Region	Группа / Group	PL-TA	PL-BH	PL-BB	RPG-valid.	
					Th.ver.	RPG-valid.Th.best
Каратау Karatau (TA 52012.92 km ² , BH 41826.44 km ² , BB 14587.5 km ²)	BP	590 (436–797)	573 (451–729)	476 (401–566)	613 (472–874)	585 (453–787)
	SP	213 (157–287)	207 (163–263)	172 (145–204)	221 (170–315)	211 (164)
	AB=BP×2	1180 (872–1594)	1146 (902–1458)	952 (802–1132)	1227 (944–1748)	1169 (907–1574)
	JB=SP×0.89	189 (139–236)	183 (144–233)	152 (128–181)	196 (151–279)	187 (145–252)
	SB=BP×0.24	139 (102–187)	135 (106–171)	112 (94–133)	144 (111–205)	138 (106–185)
	All=AB+JB+SB	1508 (1113–2017)	1464 (1152–1862)	1216 (1024–1446)	1567 (1205–2233)	1494 (1158–2011)
Чу-Или Chu-Ili (TA 38244.41 km ² , BH 25775.99 km ² , BB 3622.4 km ²)	BP	183 (159–211)	168 (146–193)	138 (98–195)	181 (135–277)	179 (132–252)
	SP	66 (57–76)	61 (53–70)	50 (35–70)	66 (49–100)	65 (48–91)
	AB=BP×2	366 (318–422)	336 (292–386)	276 (196–390)	363 (270–553)	357 (265–503)
	JB=SP×0.89	58 (50–67)	54 (47–62)	44 (31–62)	58 (43–89)	57 (43–80)
	SB=BP×0.31	57 (50–66)	53 (46–60)	43 (31–61)	56 (43–87)	56 (42–79)
	All=AB+JB+SB	481 (418–555)	443 (385–508)	363 (258–513)	477 (356–729)	470 (349–662)
Σ (Karatau+Chu-Ili) BP		773 (595–1008)	741 (597–922)	614 (499–761)	859 (656–1244)	795 (607–1151)
Σ (Karatau+Chu-Ili) All inds		1989 (1531–2572)	1907 (1537–2370)	1579 (1282–1959)	2210 (1688–3202)	2044 (1561–2962)
Оба региона Both regions (TA 90257.33 km ² , BH 67602.43 km ² , BB 18209.9 km ²)	BP	690 (515–924)	667 (520–855)	627 (529–743)	746 (594–1005)	705 (607–955)
	SP	249 (186–333)	240 (187–308)	226 (191–266)	269 (214–363)	254 (218–344)
	AB=BP×2	1380 (1030–1848)	1334 (1040–1710)	1254 (1058–1486)	1493 (1188–2011)	1410 (1214–1909)
	JB=SP×0.89	220 (165–295)	212 (165–273)	200 (169–235)	239 (189–321)	225 (193–304)
	SB=BP×0.27	189 (141–253)	183 (143–234)	172 (145–204)	204 (163–276)	193 (167–262)
	All=AB+JB+SB	1789 (1336–2396)	1729 (1348–2217)	1626 (1372–1925)	1936 (1539–2608)	1828 (1573–2475)

пар/100 км² (разброс 0–3,3, доверительный интервал 1,08–1,74 пар/100 км²), для площади гнездопригодных биотопов – 3,27±0,12 пар/100 км² (разброс 0–12,84, доверительный интервал 2,75–3,88 пар/100 км²). В Чу-Илийских горах ($n=6$) эти показатели были следующими: для общей учётной площади ($M \pm SE$) – 0,48±0,09 пар/100 км² (разброс 0,27–0,67, доверительный интервал 0,42–0,55 пар/100 км²), для площади местообитаний – 0,65±0,09 пар/100 км² (разброс 0,4–1,01, доверительный интервал 0,57–0,75 пар/100 км²), для площади гнездопригодных биотопов – 3,82±0,25 пар/100 км² (разброс 1,5–10,1, доверительный интервал 2,71–5,38 пар/100 км²) соответственно (табл. 7).

Прямая экстраполяция средней плотности (и несимметричного доверитель-

805.26 km², averaging 109.38±121.84 km² (median = 67.03 km²). The Thiessen polygons constructed around the GE breeding points in Karatau (70.75±46.31 km², $n=80$, lim 15.2–289.7 km², median = 61.27 km²) were significantly smaller ($t=5.478$, $df=118$, $p<0.00000$) than those in the Chu-Ili Mountains (186.63±178.24 km², $n=80$, lim 23.05–805.26 km², median = 130.35 km²). However, the distribution of the breeding GE in the study area is determined by the distribution and area of suitable breeding biotopes, which in the Thiessen polygons totalled 3499.49 km² (26.66% of the total area of the polygons). The area of suitable breeding biotopes for GEs per one Thiessen polygon varied from 0.33 to 126.14 km², averaging 29.16±23.14 km² (median = 23.36 km²). Moreover, no reliable difference was found in the average areas of

ного интервала) гнездовых участков беркута в местообитаниях на площадках (Каратау – 4813,65 км², Чу-Илийские горы – 5527,62 км²) на общую площадь местообитаний в Каратау (41826,44 км²) и Чу-Илийских горах (25775,99 км²), предполагает оценку численности этого вида на гнездовании в Каратау в 573 пары (от 451 до 729 пар), в Чу-Илийских горах – в 168 пар (от 146 до 193 пар). Экстраполяция аналогичных показателей плотности беркута в гнездопригодных биотопах на площадках (Каратау – 2021,12 км², Чу-Илийские горы – 941,95 км²) на общую площадь гнездопригодных биотопов (Каратау – 14587,5 км², Чу-Илийские горы

suitable nesting biotopes in the Thiessen polygons on Karatau (31.88±23.53 km², median = 25.95 km²) and in the Chu-Ili Mountains (23.73±21.60 km², median = 16.30 km²) ($t=-1.838$, $df=118$, $p=0.07$). This, in theory, allows the generating points of the potential GE breeding territories for biotope contour throughout the entire territory without dividing them into mountain ranges.

Validation of the point network using Thiessen polygons constructed around the points of real GE breeding territories in the study area allowed us to fit 762 points into the contour of breeding biotopes suitable for this species in the study area in the best model (from 656 to 1032 per 100 algorithm runs). Thinning out

Табл. 9. Результаты оценки численности беркута в Каратау и Чу-Илийск горах методом генерации случайных точек по заданному диапазону дистанций между ближайшими соседями на основе регулярной сети (средние показатели).

Table 9. Results of the Golden Eagle abundance estimation for the Karatau and Chu-Ili Mountains by the Random point generation method over a given range of distances between the nearest neighbors based on a regular network (average indicators).

	Минимальное число сгене- рированных точек Minimum num- ber of gener- ated points	Максимальное число сгене- рированных точек Maximum number of gen- erated points	Доверительный интервал Confidence In- terval (1±average Validation AbsDeviation*) M±SD	Результаты проверки паттерна точек по тренировочным и валидационным площадкам Results of checking the pattern of points on training and validation plots				
				Average Validation Deviation	Average Validation AbsDevia- tion	Average Training Deviation	Average Training AbsDe- viation	
Весь регион / All region								
Полигоны Тиссена Thiessen polygons	656	1032	807.2±70.97	641.9–1087.2	0.19	0.26	0.14	0.14
Площадки / Plots	684	1277	833.0±79.9	576.8–1498.8	0.29	0.44	0.22	0.22
Горы Каратау с прилегающими территориями / Karatau Mountains with adjacent territories								
Полигоны Тиссена Thiessen polygons	490	851	662.6±76.56	510.2–945.0	0.19	0.30	0.14	0.17
Чу-Илийские горы / Chu-Ili Mountains								
Полигоны Тиссена Thiessen polygons	143	272	195.8±27.05	145.7–298.5	0.13	0.34	0.13	0.17

Примечания / Notes:

* Доверительный интервал численности определяется по значениям «M» и «averageValidationAbsDeviation» следующим образом: averageTotal (1 + averageValidationAbsDeviation) ≤ реальное количество ≤ averageTotal (1 – averageValidationAbsDeviation); например, если «averageValidationAbsDeviation» = 0,2, то это интерпретируется как то, что алгоритм при оценке численности ошибается на 20% в ту или иную сторону, а значит, можно считать, что реальная численность = оценка алгоритма ±20%. / The abundance confidence interval using the values of “averageTotal” and “averageValidationAbsDeviation” determined as follows: averageTotal (1 + averageValidationAbsDeviation) ≤ an actual amount ≤ averageTotal (1 - averageValidationAbsDeviation); for example, if “averageValidationAbsDeviation” = 0.2, then this is interpreted as the fact that the algorithm, when estimating abundance, is wrong by 20% in one direction or another, which means that we can assume that actual abundance = the algorithm’s estimate ± 20%.

Сокращения / Abbreviations:

«averageValidationDeviation» – среднее по всем итерациям значение «validatingErrorPercent» / average over all iterations “validatingErrorPercent”,

«averageValidationAbsDeviation» – среднее по модулю по всем итерациям значение «validatingErrorPercent» / module average over all iterations “validatingErrorPercent”,

«averageTrainingDeviation» – среднее по всем итерациям значение «trainingErrorPercent» / average over all iterations “trainingErrorPercent”,

«averageTrainingAbsDeviation» – среднее по модулю по всем итерациям значение «trainingErrorPercent» / average over all iterations “trainingErrorPercent”.

– 3622,4 км²) даёт оценку численности в Каратау и Чу-Илийских горах в 476 пар (от 401 до 566 пар) и 138 пар (от 98 до 195 пар) соответственно (табл. 8).

Суммирование оценок, полученных на основании показателей плотности с меньшей ошибкой (плотность в гнездопригодных биотопах для Каратау – $3,27 \pm 0,12$ пар/100 км² и плотность в местообитаниях для Чу-Илийских гор – $0,65 \pm 0,09$ пар/100 км²) позволяет оценить численность беркута на рассматриваемой территории в 547–759, в среднем 644 пары.

Построение схемы потенциальных гнездовых участков беркута (сети точек на основании диапазона дистанций между ближайшими соседями) с валидацией по площадкам, позволяет вписать в контур гнездопригодных для этого вида биотопов на исследуемой территории 767 точек в лучшей модели (684–1277 для 100 прогонов алгоритма). Оценка численности по модели со средними показателями составляет $833 \pm 79,9$ (577–1499) точек. Детали этого расчёта для усредненной модели приведены в таблице 9. Минимальная и средняя дистанции между точками присутствия беркута в валидационном наборе составили 1,7 и 6,6 км, в результирующем слое сгенерированных точек для лучшей модели – 2,5 и 8,7 км соответственно. В данном случае мы не учитываем покинутые орлами участки, взяв максимальные показатели, и, по сути, рассчитываем численность вида по состоянию на конец 2010 г. Применяв прореживание паттерна точек, соответствующее выявленному сокращению числа занятых гнездовых участков в 7,5%, мы получаем показатели, сравнимые с результатами оценки численности по учётным площадкам – 709 точек в лучшей модели (633–1181 для 100 прогонов алгоритма).

Для лучшей валидации схемы потенциальных гнездовых участков беркута мы построили сеть полигонов Тиссена вокруг 120 гнездовых участков беркута на площадках и за их пределами (Приложение 4²⁹). Общая площадь, занятая полигонами Тиссена, по результатам исследований 2005–2024 гг. составила 13125,25 км². Площадь территории, приходящейся на один гнездовой участок беркута (полигон Тиссена), варьировала от 15,2 до 805,26 км², составив в среднем $109,38 \pm 121,84$ км² (медиана = 67,03 км²). Полигоны Тиссена, построенные вокруг гнездовых участков беркута в Каратау ($70,75 \pm 46,31$ км², $n=80$, *lim*



Гнездо беркута в крупном скальном массиве Чу-Илийских гор. Фото И. Карякина.

A Golden Eagle nest in a big rock massif of the Chu-Ili Mountains. Photo by I. Karyakin.

the point pattern corresponding to the identified reduction in occupied breeding territories by 7.5% yields 705 points (607–955 for 100 algorithm runs). The population size estimate using the model with average indicators was 807 ± 71.0 (642–1087) points (Table 9) or 746 (594–1005), taking into account the scale of its reduction (Table 8). The minimum and average distances between GE presence points in the validation set were 1.8 and 6.9 km in the resulting layer of generated points for the best model – 3.4 and 8.0 km, respectively.

We also made a separate recalculation for Karatau (with adjacent territories) and the Chu-Ili Mountains. Detailed calculation details without pattern thinning are given in Table 9. For Karatau, the best model taking into account the scale of population decline has 585 (453–787) points, for the Chu-Ili Mountains – 179 (132–252), and in total, both mountain regions give 795 (607–1151) points. The minimum and average distances between the points of GE presence in the validation set for Karatau were 1.8 and 5.9 km, in the resulting layer of generated points for the best model – 3.3 and 7.0 km, for the Chu-Ili Mountains 2.3 and 8.0 km, 3.3 and 8.3 km, respectively.

Thus, with the maximum level of coincidence with the Thiessen polygons, the RPG method allows us to obtain, on average, from

²⁹ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App4-layersAC.zip>

15,2–289,7 км², медиана = 61,27 км²) были достоверно меньше ($t=5,478$, $df=118$, $p<0,00000$), чем таковые в Чу-Илийских горах ($186,63\pm178,24$ км², $n=80$, lim 23,05–805,26 км², медиана = 130,35 км²). Однако распространение беркута на гнездовании по исследуемой территории определяется распределением и площадью гнездопригодных биотопов, которые в полигонах Тиссена в сумме составили 3499,49 км² (26,66% от общей площади полигонов). Площадь гнездопригодных для беркута биотопов, приходящаяся на один полигон Тиссена, варьировала от 0,33 до 126,14 км², составив в среднем $29,16\pm23,14$ км² (медиана = 23,36 км²). Причём достоверной разницы в средних площадях гнездопригодных биотопов в полигонах Тиссена на Каратау ($31,88\pm23,53$ км², медиана = 25,95 км²) и в Чу-Илийских горах ($23,73\pm21,60$ км², медиана = 16,30 км²) не обнаружено ($t=-1,838$, $df=118$, $p=0.07$), что по идее позволяет генерировать точки для контура биотопов на всей территории, не разделяя на горные массивы.

Валидация сети точек по полигонам Тиссена, построенным вокруг точек реальных гнездовых участков беркута на исследуемой территории, позволила вписать в контур гнездопригодных для этого вида биотопов на рассматриваемой территории 762 точки в лучшей модели (от 656 до 1032 на 100 прогонов алгоритма). Прореживание паттерна точек, соответствующее выявленному сокращению числа занятых гнездовых участков в 7,5%, даёт 705 точек (607–955 для 100 прогонов алгоритма). Оценка численности по модели со средними показателями составила $807\pm71,0$ (642–1087) точек (табл. 9) или 746 (594–1005) с учётом масштабов её сокращения (табл. 8). Минимальная и средняя дистанции между точками присутствия беркута в валидационном наборе составили 1,8 и 6,9 км, в результирующем слое сгенерированных точек для лучшей модели – 3,4 и 8,0 км соответственно.

Мы также сделали отдельный пересчёт для Каратау (с прилегающими территориями) и Чу-Илийских гор. Подробные детали расчёта без прореживания паттерна приведены в таблице 9. Для Каратау лучшая модель с учётом масштабов сокращения численности имеет 585 (453–787) точек, для Чу-Илийских гор – 179 (132–252), а в сумме оба горных района дают 795 (607–1151) точек. Минимальная и средняя дистанции между точками присутствия беркута в валидационном наборе для Каратау

705 to 795 points, depending on whether a single pattern of points is generated for the entire study area or two separate patterns for the Karatau and Chu-Ili Mountains (see Table 8).

For further work, we took a layer of 705 points generated according to the best model for the entire study area, assuming that it better eliminates false positive presences of the species in the Karatau Mountains in large clusters of biotopes suitable for breeding for the GE and does not significantly overestimate the possible abundance of GEs in the Chu-Ili Mountains, due to the generation of points in isolated clusters of small-area breeding biotopes (see Discussion). We verified this layer using the known breeding territories and GE records from the available databases (see Methods). As a result, we received 516 points (73.19% of the total number of generated points), the status of which is not confirmed since the territories for which they were generated remain unsurveyed but are suitable for nesting according to the results of our modelling, and 161 points (22.84%) are verified as a confirmed or probable breeding territory of the GE. The confirmed sites included six sites currently abandoned by Golden Eagles, 3 of which are in the influence zone of the Zhanatas wind farm and the Shokpar wind farm. Still, they can hardly be considered erroneous since the landscapes in these areas remain slightly disturbed. We included 28 points



Старое гнездо беркута на полке скалы, усеянное огромным количеством старых расколотых панцирей черепах. Чу-Илийские горы, 04.05.2023. Фото И. Карякина.

An old golden eagle nest on a rock shelf, with a large number of old remains turtle carapaces, Chu-Ili Mountains, 04/05/2023. Photo by I. Karyakin.

составили 1,8 и 5,9 км, в результирующем слое сгенерированных точек для лучшей модели – 3,3 и 7,0 км, для Чу-Илийских гор 2,3 и 8,0 км, 3,3 и 8,3 км, соответственно.

Таким образом, с максимальным уровнем совпадения с полигонами Тиссена метод ГСЧ позволяет получить в среднем от 705 до 795 точек в зависимости от того, генерируется цельный паттерн точек на всю исследуемую территорию, или два отдельных паттерна на Каратау и Чу-Илийские горы (см. табл. 8).

Для дальнейшей работы мы взяли слой из 705 точек, сгенерированный в соответствии с лучшей моделью для всей исследуемой территории, предположив, что он лучше нивелирует ложноположительные присутствия вида в горах Каратау в крупных кластерах гнездопригодных для беркута биотопов и не сильно завышает возможную численность беркута в Чу-Илийских горах, за счёт генерации точек в изолированных кластерах гнездопригодных биотопов малой площади (см. об этом Обсуждение). Мы верифицировали этот слой по известным нам гнездовым участкам и встречам птиц из доступных баз данных (см. раздел Методы). В итоге мы получили 516 точек (73,19% от общего числа сгенерированных точек), статус которых не подтверждён, так как территории, для которых они были сгенерированы, остаются необследованными, но являются гнездопригодными согласно результатам нашего моделирования, и 161 точка (22,84%) верифицирована как подтверждённый или вероятный гнездовой участок беркута. В число подтверждённых попало 6 участков, которые в настоящий момент покинуты беркутами, 3 из которых находятся в зоне влияния Жанатасской ВЭС и ВЭС Шокпар, однако их вряд-ли следует считать ошибочными, так как ландшафты на данных территориях остаются слабо нарушенными. В число ошибочных мы зачислили 28 точек (4,11%), попавших в те же полигоны Тиссена, в которых уже имелись подтверждённые в качестве реальных гнездовых участков точки, более половины из которых (57,14% из 28) сосредоточены на площадках в Чу-Илийских горах. Таким образом, из всего паттерна точек в Чу-Илийских горах, доля ошибочных составила 6,8%, в Каратау – только 2,6%. При этом в Каратау было пропущено 8 реальных гнездовых участков беркутов, не закрытых сгенерированными точками, один из которых выявлен за пределами покрытия гнездопригодных биотопов,

(4.11%) in the number of erroneous sites that fell into the identical Thiessen polygons in which there were already points confirmed as real breeding territories, more than half of which (57.14% of 28) are concentrated on sites in the Chu-Ili Mountains. Thus, from the entire pattern of points in the Chu-Ili Mountains, the share of erroneous ones was 6.8%, and in Karatau, it was only 2.6%. In Karatau, eight real breeding territories of GE were missed that were not covered by the generated points, one of which was identified outside the coverage of breeding biotopes; the rest were inside the coverage but in the area where GE bred at minimal distances between the nearest neighbours. In the Chu-Ili Mountains, there were three such sites, 2 of which were outside the coverage of breeding biotopes, and one was at a minimal distance from the nearest real neighbour. Thus, for the entire study area, we can talk about 716 points simulating potential breeding territories of GE, 28 (3.9%) of which are false positives, 11 (1.54%) false negatives, 161 (22.5%) confirmed, of which birds currently abandon 6, and 516 (72.1%) require further confirmation. Considering the low error rate (the sum of false positive and false negative generations) of only 5.4%, the layer of generated points can be regarded as highly successful, reflecting the real distribution of the Golden Eagle in the study area, despite the high proportion of areas not surveyed for GE nesting.



Самка беркута подновляет гнездо, Каратау, 04.05.2022. Через 2 года напротив гнезда будет построена ВЭС «Шокпар» и гнездовой участок орлов прекратит существование. Фото И. Карякина.

A female Golden Eagle renovates a nest in Karatau on 04/05/2022. In two years, the Shokpar wind farm will be built opposite the nest, and the eagles' nesting area will cease to exist. Photo by I. Karyakin.

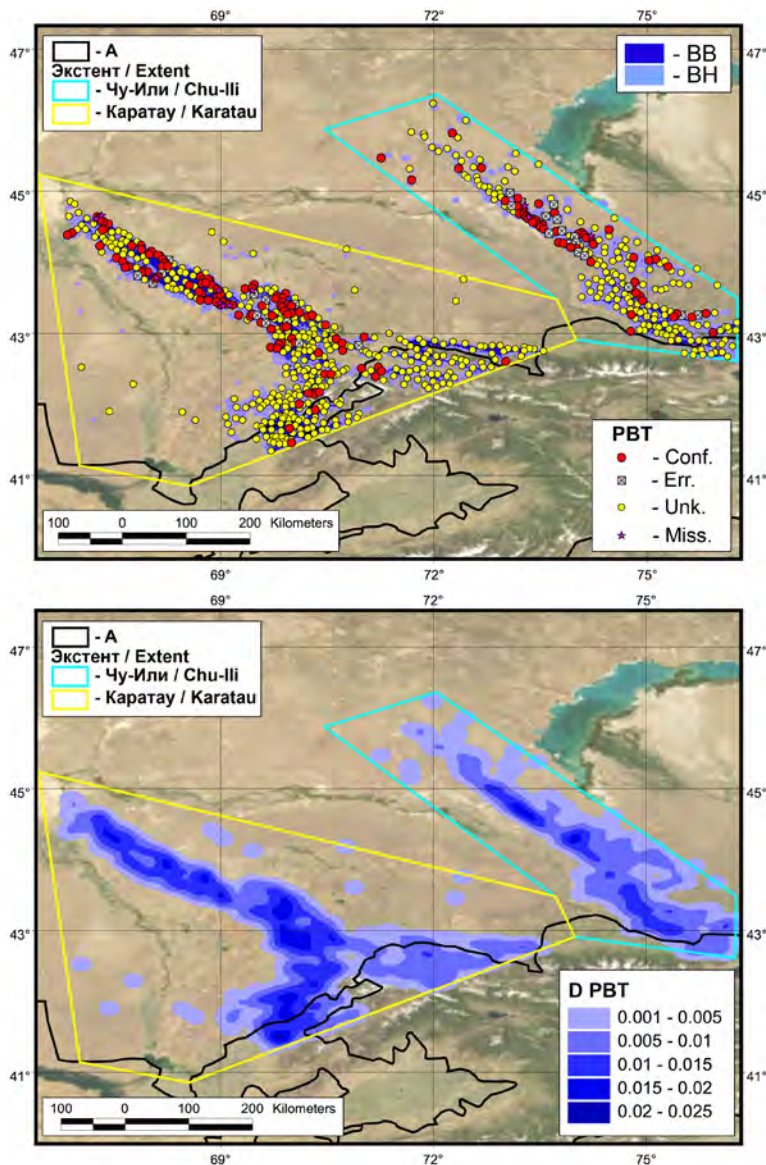


Рис. 11. Результаты оценки численности беркута в Каратау и Чу-Илийских горах методом генерации случайных точек по заданному диапазону дистанций между ближайшими соседями на основе регулярной сети с валидацией по полигонам Тиссена, и верификацией точек по истинным гнездовым участкам беркута (вверху) и карта плотности с радиусом поиска 20 км, построенная по этим точкам (внизу) (см. Приложение 4²⁹). Условные обозначения: А – границы стран, PBT – сгенерированные точки, имитирующие распределение гнездовых участков беркута (Conf. – подтверждённые в соответствии с реальными гнездовыми участками и встречами птиц, Err. – ошибочные, Unk. – не верифицированные, Miss. – пропущенные гнездовые участки беркутов, не закрытые сгенерированными точками), D PBT – визуализация плотности распределения точек потенциальных гнездовых участков, BB – гнездопригодные биотопы, BH – местообитания.

Fig. 11. Results of the Golden Eagle abundance estimation for the Karatau and Chu-Ili Mountains by the method of generating random points over a given range of distances between the nearest neighbors based on a regular network with validation by Thiessen polygons, and verification of points according to the true breeding territories of the Golden Eagle (at upper) and density map with a search radius of 20 km, built from these points (See Appendix 4²⁹). Legends: A – country borders, PBT – generated points simulating the distribution of breeding territories of the Golden Eagle (Conf. – confirmed points according to real breeding territories and bird records, Err. – erroneous points, Unk. – not verified points, Miss. – missed Golden Eagle breeding territories not covered by generated points), D PBT – density visualization of points of potential breeding territories, BB – breeding biotopes, BH – habitats.

остальные лежали внутри покрытия, но на минимальных дистанциях между ближайшими соседями. В Чу-Илийских горах таких участков оказалось 3, 2 из которых лежали за пределами покрытия гнездопригодных биотопов, а один находился на минимальной дистанции с ближайшим соседом. Таким образом, для всей исследуемой территории можно говорить о 716 точках, имитирующих потенциальные гнездовые участки беркутов, 28 (3,9%) из которых являются ложноположительными, 11 (1,54%) ложноотрицательными, 161 (22,5%) подтверждён, из которых 6 в настоящее время покинуты птицами, и 516 (72,1%) требуют дальнейшего подтверждения. Учитывая низкий уровень ошибки (сумму ложноположительных и ложноотрицательных генераций) всего в 5,4%, можно считать слой сгенерированных точек крайне удачным, отражающим реальное распределение

The distribution map of points for estimating the GE population in Karatau and adjacent territories and in the Chu-Ili Mountains from the best model with validation by Thiessen polygons after verification by true breeding territories, as well as the distribution density map of these points, constructed with a search radius of 20 km, is shown in Fig. 11. The density map is available in Appendix 4²⁹.

Thus, we consider the correct estimate of the Golden Eagle population in the study area to be 688 (597–937) breeding pairs, 466 (434–645) of which nest in Karatau and adjacent territories, and 222 (163–292) in the Chu-Ili Mountains. Including within the administrative boundaries of Kazakhstan, the number of GEs breeding, according to this estimate, maybe 458–719, with an average of 574 pairs.

Considering that the average share of successful nests from the number of occupied nests in Karatau and the Chu-Ili Mountains during the

беркута на исследуемой территории, несмотря на высокую долю необследованных участков на предмет гнездования беркута.

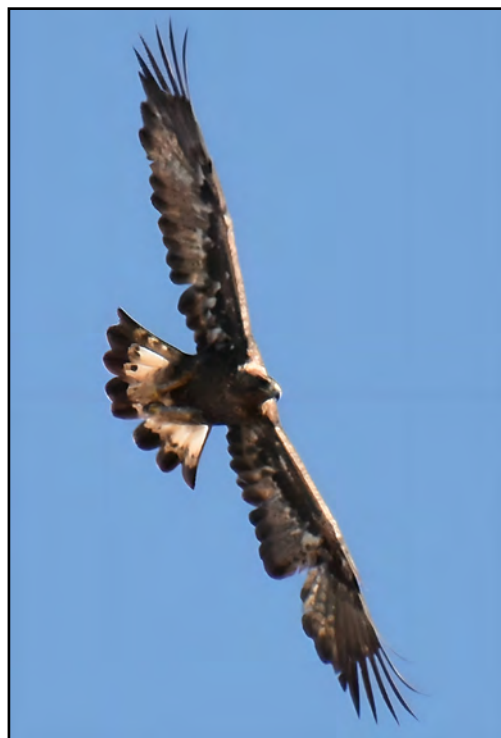
Карта распределения точек для оценки численности беркута в Каратау и на прилегающих территориях и в Чу-Илийских горах из лучшей модели с валидацией по полигонам Тиссена после верификации по истинным гнездовым участкам, а также карта плотности распределения этих точек, построенная с радиусом поиска 20 км, показаны на рисунке 11. Карта плотности доступна в Приложении 4²⁹.

Таким образом, мы считаем наиболее корректной оценку численности беркута на исследуемой территории в 688 (597–937) гнездящихся пар, 466 (434–645) из которых гнездятся в Каратау и на прилегающих территориях, а 222 (163–292) – в Чу-Илийских горах. В том числе, в административных границах Казахстана численность беркута на гнездовании в соответствии с данной оценкой может быть 458–719, в среднем 574 пары.

Учитывая то, что средняя доля успешных гнёзд от числа занятых в Каратау и Чу-Илийских горах за период наблюдений варьирует в очень незначительных пределах (от 36,0 до 36,11%), мы взяли средний показатель по региону (36,04%, см. табл. 1), не делая отдельный расчёт, и предполагаем, что численность успешных пар в регионе в настоящее время при текущей ситуации с кормами, которая описана выше, изменяется от 215 до 338 пар, составляя в среднем 248 пар.

При продуктивности 0,89 слётка на успешное гнездо, можно оценить приплод всей популяции в Каратау и Чу-Илийских горах в 219 (190–299) особей.

Неразмножающиеся птицы (в возрасте до 4-х лет) без партнёров на исследуемой территории отмечались в количестве 56 особей, т.е. 0,47 особей на занятый гнездовой участок. Причём их встречаемость сократилась в Каратау в 2022–2024 гг. в 2 раза относительно периода 2005–2010 гг. (до 0,24 особей на занятый гнездовой участок), и всего лишь в 1,5 раза в Чу-Илийских горах в 2023–2024 гг., относительно 2009 г. (до 0,31 особей на занятый гнездовой участок). Следовательно, исходя из средних показателей встречаемости (0,27 особей на занятый гнездовой участок), можно предполагать, что на рассматриваемой территории в настоящее время помимо гнездящихся птиц в период размножения и послегнездовых кочёвок присутствует 189 (164–257) не территориальных беркутов.



*Молодой беркут Каратау, 15.07.2022.
Фото И. Карякина.*

*Subadult Golden Eagle. Karatau, 15/07/2022.
Photo by I. Karyakin.*

observation period varies within minimal limits (from 36.0 to 36.11%), we took the average indicator for the region (36.04%, see Table 1), without making a separate calculation, and assume that the number of successful pairs in the area at present, given the current situation with food, which is described above, varies from 215 to 338 pairs, averaging 248 pairs.

With a productivity of 0.89 fledglings per successful nest, we can estimate the offspring of the entire population in Karatau and the Chu-Ili Mountains at 219 (190–299) individuals.

Non-breeding birds (up to 4 years old) without partners in the study area were recorded as 56 individuals, i.e. 0.47 individuals per occupied breeding territory. Moreover, their occurrence decreased in Karatau in 2022–2024 by 2 times compared to the period 2005–2010 (up to 0.24 individuals per occupied breeding territory) and only by 1.5 times in the Chu-Ili Mountains in 2023–2024, compared to 2009 (up to 0.31 individuals per occupied breeding territory). Therefore, based on the average occurrence rates (0.27 individuals per occupied breeding territory), it can be assumed that in the study area, in addition to nesting birds, there are currently 189 (164–257) non-territorial GEs during the breeding season and post-nesting migrations.

Итоговая численность беркута на гнездовании на исследуемой территории в 2024 г. оценивается нами в 688 (597–937) гнездящихся пар, 248 (215–338) успешных пар или 1784 (1548–2430) особей с учётом потомства текущего года и нетерриториальных птиц, кочующих по территории в гнездовой период (в Каратау и на прилегающих территориях – 1126–1674, в среднем 1209 особей, в Чу-Илийских горах – 422–757, в среднем 575 особей).

Через Чу-Илийские горы и Каратау происходит миграция беркутов из более северных популяций. Причём осенняя миграция гораздо более выражена, чем весенняя. Наблюдения за мигрирующими птицами в Каратау в сентябре – октябре 2024 г. показали, что миграция начинается после 20 сентября и наиболее интенсивно происходит с 5 по 27 октября, и уже в начале ноября начинает затухать. Подробная статистика по наблюдениям орлов дана ниже. Здесь мы анализируем 97 наблюдений 127 птиц. Чтобы не завышать число мигрантов, мы отбрасываем регистрации 2-й и 3-й птицы в наблюдениях, так как они, как правило, относились к местным птицам, демонстрировавшим территориальное поведение или сопровождавших мигрантов через часть гнездовой территории и возвращавшихся обратно на участок. В период с 20 сентября по 31 октября через 6 наблюдательных пунктов на передовых складках северного фаса Каратау прошло в 5,7 раз больше беркутов, чем наблюдалось в гнездовой сезон (рис. 12). Можно предположить, что через весь Каратау на осенней миграции с 20 сентября по 20 ноября 2024 г. пролетело от 7276 до 11423 (в среднем 8386) беркутов в дополнение к местным птицам.

По векторам движения птиц на точках наблюдений и совокупности регистраций беркутов в миграционный период мы по-

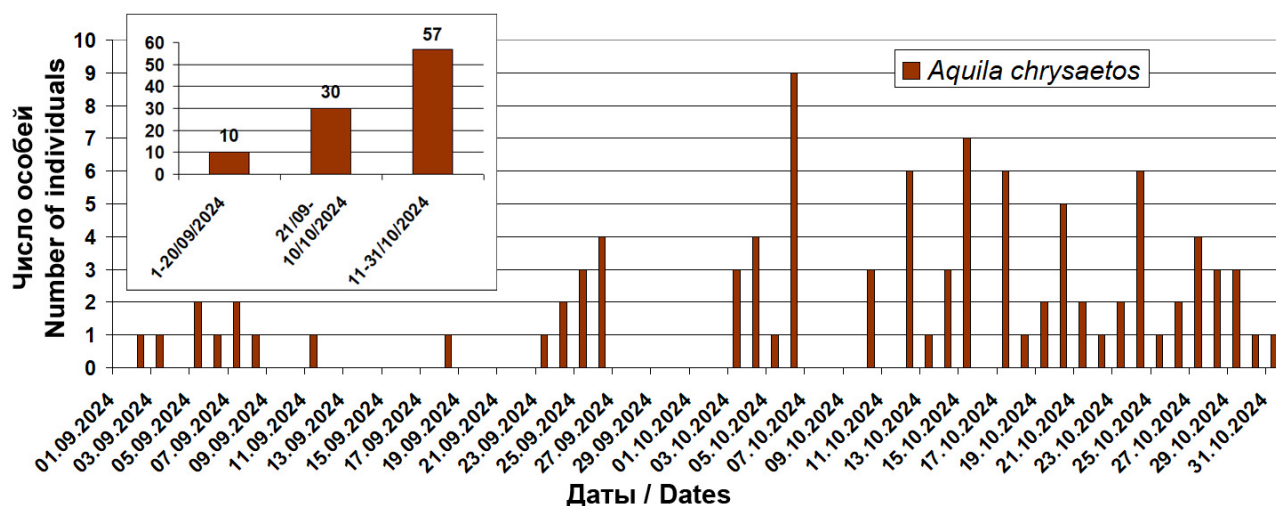
The total number of Golden Eagles breeding in the study area in 2024 is estimated by us at 688 (597–937) nesting pairs, 248 (215–338) successful pairs, or 1784 (1548–2430) individuals, taking into account the offspring of the current year and non-territorial birds during the breeding period (in Karatau and adjacent areas – 1126–1674, an average of 1209 individuals, in the Chu-Ili Mountains – 422–757, an average of 575 individuals).

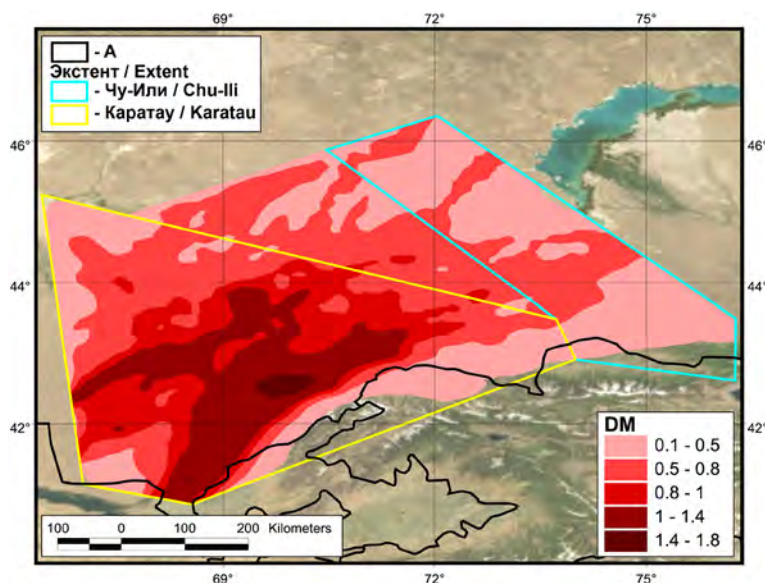
Golden Eagles migrate from more northern populations through the Chu-Ili and Karatau Mountains. Moreover, autumn migration is much more pronounced than spring migration. Observations of migrating birds in Karatau in September – October 2024 showed that migration begins after September 20, is most intense from October 5 to 27, and begins to fade away in early November. Detailed statistics on eagle observations are given below. Here, we analyse 97 observations of 127 birds. To avoid overestimating the number of migrants, we discard registrations of the 2nd and 3rd birds in observations since they, as a rule, belonged to local birds demonstrating territorial behaviour or accompanying migrants through part of the breeding territory and returning to the site. During the period from September 20 to October 31, 5.7 times more GEs passed through 6 vantage points on the forward folds of the northern face of Karatau than were observed during the breeding season (Fig. 12). It can be assumed that from 7,276 to 11,423 (on average 8,386) GEs flew through the entire Karatau during the autumn migration from September 20 to November 20, 2024, in addition to local birds.

Based on the bird movement vectors at vantage points and the total number of GE records during the migration period, we constructed a density map of migrating eagles, combining spring and autumn migrations. The

Рис. 12. Динамика миграции беркутов в горах Каратау осенью 2024 г. (n=97).

Fig. 12. Dynamics of Golden Eagle migration in the Karatau Mountains in autumn 2024 (n=97).





строили карту плотности мигрирующих орлов, объединив весеннюю и осеннюю миграции. Карта плотности распределения мигрирующих орлов, построенная с радиусом поиска 20 км, показана на рисунке 13 и доступна в Приложении 4²⁹.

Также орлы из более северных популяций, в особенности молодые птицы, зимуют в Чу-Илийских горах и Каратау. Но увеличения численности беркутов здесь за счёт притока северных птиц в зимний период, вероятно, не происходит, так как оно нивелируется оттоком местных птиц (в первую очередь молодых и полувзрослых) в более южные районы. Учитывая отсутствие полноценных учётов беркутов в зимний период на рассматриваемой территории, мы лишь предполагаем, что большая часть взрослых орлов остаётся на территории, поэтому оцениваем зимнюю численность беркута здесь около 70% от числа взрослых птиц в размножающихся парах (т.е. в диапазоне от 1084 до 1701, в среднем 1249 особей).

Рис. 13. Карта плотности распределения беркутов на миграциях с радиусом поиска 20 км (см. Приложение 4²⁹). Условные обозначения: А – границы стран, DM – визуализация плотности распределения мигрирующих орлов.

Fig. 13. Density map of the Golden Eagle distribution on migration with a search radius of 20 km (See Appendix 4²⁹). Legends: A – country borders, DM – density visualization of the Golden Eagle distribution on migration.

density map of migrating eagles, constructed with a search radius of 20 km, is shown in Fig. 13 and is available in Appendix 4²⁹.

Also, GE from more northern populations, especially young birds, winter in the Chu-Ili Mountains and Karatau. However, the increase in the GE population here due to the influx of northern birds in the winter period probably does not occur since it is levelled by the outflow of local birds (primarily juveniles and immatures) to more southern areas. Given the lack of GE censuses in the winter period in the territory under consideration, we only assume that most adult eagles remain in the territory, so we estimate the winter golden eagle population here to be about 70% of the number of adult birds in breeding pairs (i.e. in the range from 1084 to 1701, an average of 1249 individuals).

Daily activity, direction, speed and altitude of eagles' flight

In September 2022 and from March to November 2024, 500 observations for the movements of 6 adults (292) and two juveniles (208) were made during 546 hours of observations at 6 (3 in each observation year) breeding territories of Golden Eagles in Karatau. The observation points are shown in Figure 14. After leaving the nest, the juveniles were observed

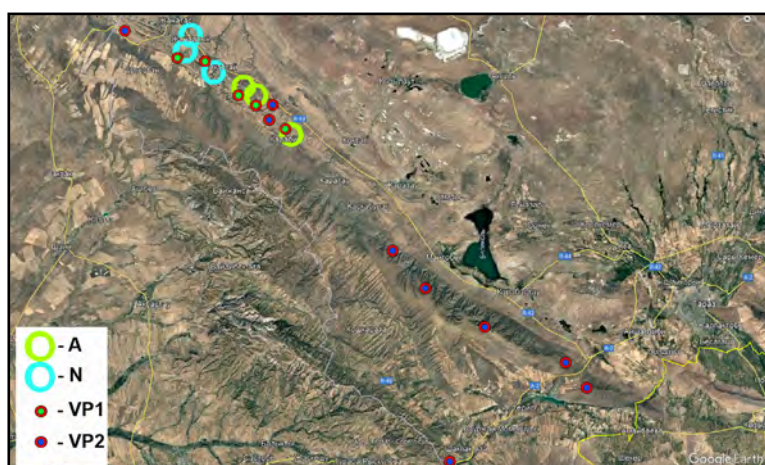


Рис. 14. Пункты наблюдения за перемещениями хищных птиц в горах Каратау в 2022–2024 гг. Условные обозначения: А – занятые в 2024 г. гнездовые участки беркутов, N – гнездовые участки беркутов, покинутые орлами к 2024 г., VP1 – пункты наблюдения на гнездовых участках беркута, VP2 – пункты наблюдения за пределами гнездовых участков беркута.

Fig. 14. Vantage Points (VP) for the observation of movements of birds of prey in the Karatau Mountains in 2022–2024. Legend: A – Golden Eagle breeding territories occupied in 2024, N – Golden Eagle breeding territories abandoned by eagles to 2024, VP1 – vantage points within Golden Eagle breeding territories, VP2 – vantage points outside Golden Eagle breeding territories.

Суточная активность, направление, скорость и высота полёта орлов

В сентябре 2022 г. и с марта по ноябрь 2024 г. за 546 часов наблюдений на 6 (по 3 в каждый год наблюдений) гнездовых участках беркутов в Каратау сделано 500 наблюдений за перемещениями 6 взрослых (292) и 2 молодых птиц (208). Точки наблюдения показаны на рисунке 14. После вылета из гнезда, молодые в течение 2-х месяцев (июль – август) наблюдались в полёте только в 2-х километровом секторе вокруг гнезда, не вылетая за его пределы. В сентябре – октябре зона перемещений слётков выросла до 4 км, но далее 4-х км от гнезда в этот период они не удалялись. По крайней мере, это не подтверждено визуальными наблюдениями. Один слёток покинул гнездовую территорию (вероятно, ушёл в миграцию) в период с 20 по 25 октября 2024 г., второй – с 30 октября по 5 ноября 2024 г. Несмотря на близкий возраст слётков (не более 3 дней разницы в возрасте), разница в окончании зависимого послегнездового периода составила не менее 10 дней.

Из этих сведений нам важны два показателя. Радиус перемещений слётков вокруг гнезда в июле – августе – до 2 км, в сентябре – октябре – до 4 км. В ноябре слётки перестают регистрироваться на гнездовых

в полёт за 2 месяца (июль – август) только в 2 км секторе вокруг гнезда, без вылета за его пределы. В сентябре – октябре, зона перемещений слётков увеличилась до 4 км, но они не удалялись дальше 4 км от гнезда в этот период. По крайней мере, это не подтверждено визуальными наблюдениями. Один молодой орёл покинул территорию гнездовья (вероятно, мигрировал) между 20 и 25 октября 2024 г., второй – между 30 октября и 5 ноября 2024 г. Несмотря на близкий возраст слётков (разница в возрасте не более 3 дней), разница в окончании периода зависимости от гнезда составила не менее 10 дней.

Из этой информации, два показателя важны для нас. Радиус перемещений слётков вокруг гнезда в июле – августе – до 2 км, а в сентябре – октябре – до 4 км. В ноябре слётки перестают регистрироваться на гнездовых

на 10 вышках в Каратау (3 точки на Занатасском ветровом поле) с 21 сентября 2022 г. по 29 сентября 2022 г. (рис. 14), 49 наблюдений 60 ГЕ были сделаны за 144 часа; в 2 точки 13–14 апреля 2023 г., 15 ГЕ были подсчитаны за 12 часов (14 наблюдений); в 6 точек (3 точки на Занатасском ветровом поле) в 2024 г. (рис. 14) с марта 24

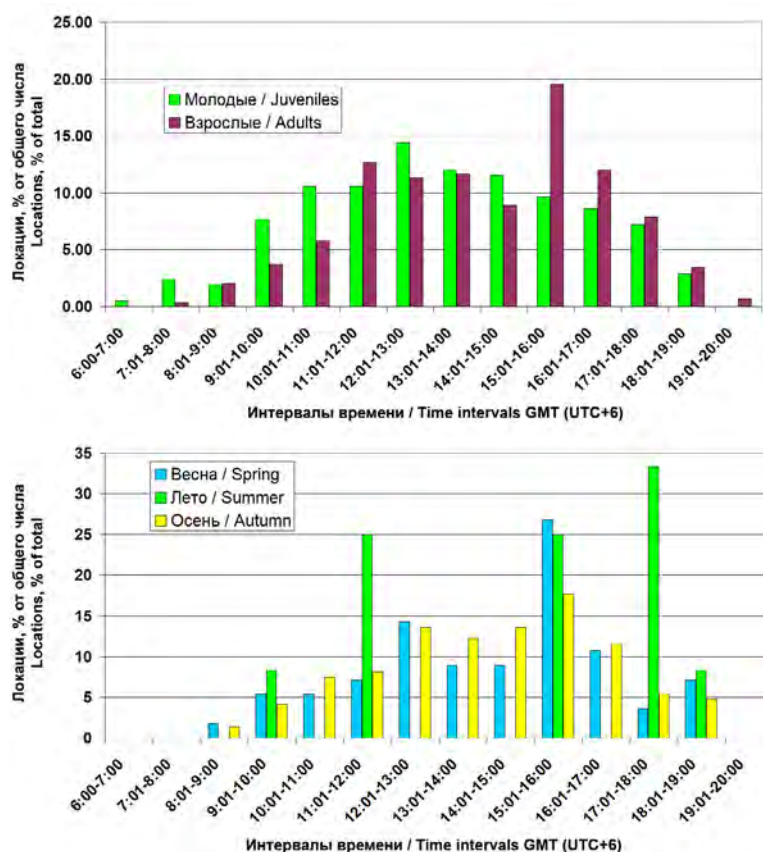


Рис. 15. Доля наблюдений летающих молодых и взрослых беркутов в определённые временные интервалы в течение светлого времени дня (лётная активность) по наблюдениям на гнездовых участках (вверху, 500 наблюдений, в том числе 208 – молодые птицы, 292 – взрослые птицы) и на пунктах наблюдения за пределами гнездовых участков (внизу, 226 наблюдений, в том числе весной – 56, летом – 24, осенью – 146). На нижней диаграмме наблюдения молодых и взрослых птиц объединены в связи с низкой долей (менее 5%) молодых в выборке, но вся выборка ранжирована по сезонам (весна, лето, осень; зимой наблюдения не проводились).

Fig. 15. The proportion of records of flying juvenile and adult Golden Eagles at specific time intervals during daylight hours (flight activity) based on observations at breeding territories (at the upper, 500 observations, including 208 juveniles, 292 adults) and at vantage points outside the breeding territories (at the bottom, 226 observations, including 56 in spring, 24 in summer, 146 in autumn). In the bottom diagram, observations of juveniles and adults are combined due to the low proportion of juveniles (less than 5%) in the sample; the entire sample is ranked by seasons (spring, summer, and autumn; in winter observations were not implemented).

участках и начинают широкие кочёвки или миграции.

На 10 точках учёта птиц в горах Каратау (3 точки на Жанатасской ВЭС) с 21 по 29 сентября 2022 г. (рис. 14) за 144 часа было сделано 49 наблюдений 60 беркутов; на 2 точках 13–14 апреля 2023 г. за 12 часов учтено 15 беркутов (14 наблюдений); на 6 точках (3 точки на Жанатасской ВЭС) в 2024 г. (рис. 14) с 24 марта по 10 мая за 189 часов было сделано 42 наблюдения 43 беркутов, с 8 июня по 15 августа за 120 часов – 24 наблюдения 28 беркутов и со 2 сентября по 30 октября за 342 часа – 97 наблюдений 127 беркутов. Таким образом, за 807 часов мы наблюдали 273 беркута 226 раз.

По сумме всех наблюдений на гнездовых участках беркутов и за их пределами (281 беркут в 726 наблюдениях за 1353 часа) мы построили графики лётной активности орлов, которые показаны на рисунке 15. На гнездовых участках в течение сезона размножения (с процесса насиживания кладок и до распада выводков) пик активности взрослых птиц приходился на 15:00–16:00 часов. Причём в середине лета он был незначителен, но начиная с сентября активность взрослых птиц становилась максимальной, несмотря на разный статус территорий (в 2024 г. одна из них была unsuccessful, а на двух других птенцы вылетели и благополучно завершили зависимый послегнездовой период). В это время партнёры часто летали парами, при этом самец достаточно часто токовал (совершал гирляндовый полёт), особенно в октябре, часто в присутствии неполовозрелых беркутов и орлов других видов, пролетающих мимо. У молодых птиц лётная активность была сосредоточена равномерно в середине дня, с незначительным пиком с 12:00 до 13:00. В то же время, за пределами гнездовых участков в течение лета максимальная лётная активность взрослых птиц наблюдалась с 17:00 до 18:00 и была связана в основном с возвращением на гнездовые участки из охотничьих угодий. Менее значимые пики активности были замечены в 11:00–12:00 и 15:00–16:00. Весной и осенью основная активность наблюдалась с 15:00 до 16:00 часов, так же, как на гнездовых участках.

Время, проводимое беркутами в полёте, сильно зависело от статуса птиц. Взрослые птицы с успешным размножением с конца марта по конец сентября в полёте проводили не более 30% светлого времени (в среднем 26,12% от светлого времени суток), в основном занимаясь скрадыванием добычи с присад в ущельях. Время в полёте

to May 10, 42 observations of 43 GEs were made in 189 hours, from June 8 to August 15 in 120 hours – 24 observations of 28 GEs and from September 2 to October 30 in 342 hours – 97 observations of 127 GEs. Thus, in 807 hours, we observed 273 GEs 226 times.

Based on the sum of all observations in the breeding territories of GEs and beyond them (281 GEs in 726 observations for 1353 hours), we constructed graphs of the eagles' flight activity, which are shown in Figure 15. In the breeding territories during the breeding season (from the incubation of clutches until the end dependent post-fledgling period), the peak of adult bird activity occurred at 15:00–16:00. Moreover, in mid-summer it was insignificant. Still, starting in September, adults' activity became maximal despite the different statuses of the territories (in 2024, one was unsuccessful, and in the other two, the nestlings flew out and completed the dependent post-nesting period). During this time, partners often flew in pairs, with the male quite frequently displaying (making a garland flight), especially in October, often in the presence of immature GEs and eagles of other species flying past. In juveniles, flight activity was concentrated evenly in the middle of the day, with an insignificant peak from 12:00 to 13:00. At the same time, outside the breeding territories during the summer, the maximum flight activity of adult birds was observed from 17:00 to 18:00 and was associated mainly with returning to the nesting areas from hunting grounds. Less significant activity peaks were noted at 11:00–12:00 and 15:00–16:00. In spring and autumn, the main activity was observed from 15:00 to 16:00, the same as in the nesting areas.

The time spent by Golden Eagles in flight depended greatly on the status of the birds. Adults with successful breeding from the end of March to the end of September spent no more than 30% of daylight hours in flight (on average 26.12%), mainly stalking prey from perches in gorges. The time in flight for such birds during the observation period was maximum in March and October (28.92 and 29.46% of daylight hours, respectively). Eagles that lost their clutches at the early stage of breeding spent up to 40% of daylight hours in the air; males from unsuccessful pairs performed garland flights much more often than males from successful pairs (especially in September – October). After leaving the nest in June, fledglings gradually increased their flight activity: 5 hours (1.09% of daylight hours) in July, 34 hours (8.11%) in August, and 109 hours (29.04%) in September. In October, juveniles spent slightly less time flying than in

у таких птиц за период наблюдений было максимальным в марте и октябре (28,92 и 29,46% от светлого времени суток соответственно). В то же время, орлы, лишившиеся кладок на раннем этапе размножения, проводили в воздухе до 40% светлого времени, самцы из неуспешных пар намного чаще совершали гирляндовые полёты, чем самцы из успешных (особенно в сентябре – октябре). Молодые птицы после вылета из гнёзд в июне постепенно наращивали лётную активность: 5 часов (1,09% от светлого времени суток) в июле, 34 часа (8,11%) в августе, 109 часов (29,04%) в сентябре. В октябре молодые проводили в полёте несколько меньше времени, чем в сентябре – в среднем 71 час 35 минут или 25,87% от светлого времени суток. Взрослые орлы и подростки слётки (через 2 месяца после вылета из гнезда) совсем не летали в среднем 4,4 дня в течение месяца, отсиживаясь на скалах только в очень плохую погоду с осадками, сильным ветром и слабой видимостью. Таким образом, лётная активность взрослых птиц с марта по октябрь включительно, и молодых в сентябре – октябре (без учёта их перемещений в июле–августе) составила в среднем $27,88 \pm 1,55\%$ от светлого времени суток.

Взрослые орлы и подростки слётки на гнездовых участках в те дни, когда летали, затрачивали на полёт ($n=183$) в среднем $03:35 \pm 02:01$ часа в сутки (от 1 до 07:43 часов в сутки).

Транзитные птицы находились в секторе наблюдения, радиусом 2 км, от 2 минут до 1 часа 45 минут, в среднем ($n=103$) $11:48 \pm 13:48$ минут.

Скорость перемещения орлов (преимущественно взрослых), рассчитанная как пройденное расстояние между отмеченными на карте локациями, варьировала от 1 до 101 км/ч, составив в среднем ($n=330$) $26,21 \pm 23,05$ км/ч (0,28–28,17, в среднем $7,28 \pm 6,4$ м/с). При этом на гнездовых участках беркуты (в основном молодые птицы) перемещались со значительно меньшими скоростями – от 1 до 28 км/ч, в среднем ($n=221$) $3,22 \pm 4,45$ км/ч (0,28–7,8, в среднем $0,9 \pm 1,24$ м/с). Такая разница в скоростях при транзитных пролётах и близ гнёзд связана в основном с характером полёта. При транзитном перемещении орлы, как правило, достаточно прямолинейно скользили с попутным ветром или при боковом и попутно-боковом ветре, проходя видимый сектор наблюдения за считанные минуты. У гнезда, в большинстве случаев, беркуты подолгу парили, или барражиро-



Беркут. Фото И. Карякина.

Golden Eagle. Photo by I. Karyakin.

September – an average of 71 hours 35 minutes or 25.87% of daylight hours. Adults and juveniles (2 months after leaving the nest) did not fly for an average of 4.4 days during the month (sitting on rocks only in terrible weather with precipitation, strong wind and poor visibility). Thus, the flight activity of adults from March to October inclusive and juveniles from September – October (excluding their movements from July–August) averaged $27.88 \pm 1.55\%$ of daylight hours.

Adults and juveniles in breeding territories spent an average of $03:35 \pm 02:01$ hours per day (from 1 to 07:43 hours) flying on the days they flew ($n=183$).

Transit eagles were in the observation sector, with a radius of 2 km, from 2 minutes to 1 hour 45 minutes, on average ($n=103$) $11:48 \pm 13:48$ minutes.

The speed of eagles (mainly adults), calculated as the distance travelled between locations marked on the map, varied from 1 to 101 km/h, averaging ($n=330$) 26.21 ± 23.05 km/h (0.28–28.17, averaging 7.28 ± 6.4 m/s). At the same time, GEs (mainly juveniles) moved at significantly lower speeds in breeding territories – from 1 to 28 km/h, averaging ($n=221$) 3.22 ± 4.45 km/h (0.28–7.8, averaging 0.9 ± 1.24 m/s). Such a difference in speeds during transit flights and near nests is mainly due to the nature of the flight. During transit movement, eagles, as a rule, glided quite straight with a tailwind or cross-tailwind, passing the visible observation sector in a matter of minutes. Near the nest, in most cases, GEs soared for a long time or patrolled in orographic lifts along the cliffs, moving an insignificant distance over a long period.

вали в орोगрафических подъёмах вдоль скал на минимальных дистанциях, смещаясь на незначительное расстояние за продолжительное время.

Из этих сведений нам важны два показателя: среднее время, проведённое в полёте – 27,88% от светлого времени суток и скорость – 7,28 м/с.

Направления движения беркутов, измеренные на точках наблюдения за пределами их гнездовых участков (рис. 16), показали, что весной орлы перемещались преимущественно с юга на север (360°), в то время как осенью доминирующее направление было с северо-востока на юго-запад (225°). Летом, несмотря на несистемные полёты орлов в разных направлениях, выделяется направление с северо-запада на юго-восток и, отчасти, обратно, что связано с наиболее частым перемещением птиц вдоль осевой части хребта Каратау (рис. 16).

Высоты над землёй, на которых наблюдались орлы на гнездовых участках в полёте, варьируют от 5 м до 1,6 км, составляя в среднем ($n=1125$) $143,82 \pm 185,85$ м (медиана = 73 м). Молодые птицы перемещались на меньших высотах ($119,47 \pm 139,25$ м, медиана = 65 м, $n=447$, $\text{lim } 5\text{--}980$ м), чем взрослые ($159,87 \pm 209,57$ м, медиана = 79,5 м, $n=678$, $\text{lim } 8\text{--}1600$ м) с надёжной разницей ($t=-3,587$, $df=1123$, $p=0,00035$). При этом на высотах ЗДР (29–151 м) молодые и взрослые беркуты имели практически одинаковую долю наблюдений: 68,46% – молодые (306 наблюдений) и 69,47% – взрослые (471 наблюдение) (рис. 17, 18, Приложение 5³⁰). На точках наблюдения в горах Каратау за пределами гнездовых участков беркуты пролетали на больших высотах ($170,9 \pm 224,55$ м, медиана = 90 м, $n=616$, $\text{lim } 8\text{--}1600$ м), чем на гнездовых участках, с надёжной разницей средних ($t=2,696$, $df=1739$, $p=0,00709$). Соответственно в ЗДР здесь лежит 57,95% наблюдений, несколько меньше, чем на гнездовых участках, но разница не принципиальная.

Мы выявили разницу в высоте полёта над землёй для разных сезонов (рис. 17, 19). Если летом на точках за пределами гнездовых участков беркуты отмечались на высоте в среднем ($n=96$) $101,25 \pm 90,09$ м (от 10 до 400 м, медиана = 60 м), то осенью высота полёта орлов была в среднем ($n=425$) $139,46 \pm 165,38$ м (от 3 м до 1 км, медиана = 80 м), что выше, чем летом ($t=-2,19$, $df=519$, $p=0,03$). Весной полёты орлов регистрировались на высоте в среднем ($n=95$)

From this information, two indicators are vital: the average time spent in flight – 27.88% of daylight hours and the average speed – 7.28 m/s.

The directions of movement of GEs measured at vantage points outside their nesting areas (Fig. 16) showed that in spring, the eagles moved mainly from south to north (360°), while in autumn, the dominant direction was from northeast to southwest (225°). In summer, despite the unsystematic flights of eagles in different directions, the direction from northwest to southeast and, partly, back stand out, which is associated with the most frequent movement of birds along the axial part of the Karatau ridge (Fig. 16).

The heights above the ground at which eagles were observed in flight in breeding territories vary from 5 m to 1.6 km, averaging ($n=1125$) 143.82 ± 185.85 m (median = 73 m). Juveniles moved at lower altitudes (119.47 ± 139.25 m, median = 65 m, $n=447$, $\text{lim } 5\text{--}980$ m) than adults (159.87 ± 209.57 m, median = 79.5 m, $n=678$, $\text{lim } 8\text{--}1600$ m) with a reliable difference ($t=-3.587$, $df=1123$, $p=0.00035$). At the same time, at the altitudes of the RSZ (29–151 m), juvenile and adult Golden Eagles had almost the same proportion of observations: 68.46% – juveniles (306 observations) and 69.47% – adults (471 observa-

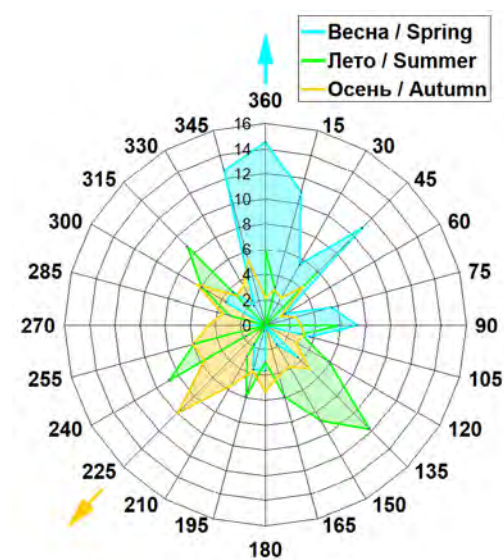


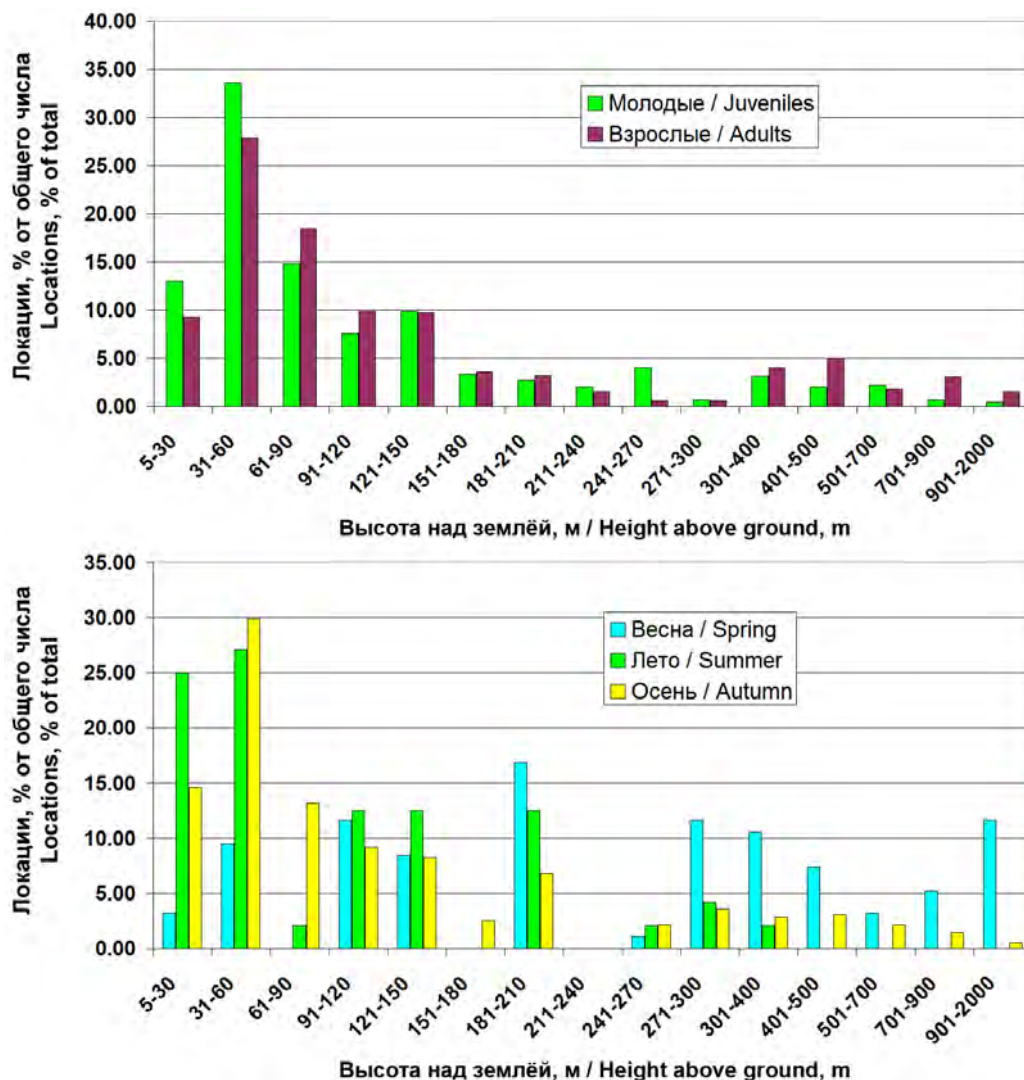
Рис. 16. Азимут перемещения беркутов на точках наблюдения за пределами гнездовых участков орлов в Каратау.

Fig. 16. The direction of movement of the Golden Eagles on the vantage points outside the eagle's breeding territories in the Karatau Mountains.

³⁰ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App5-Altitude-Time.xls>

Рис. 17. Высота полёта беркутов в горах Каратау в 2022–2024 гг.: вверху – молодые и взрослые птицы на гнездовых участках, внизу – перемещения орлов на точках наблюдения за пределами гнездовых участков весной, летом и осенью.

Fig. 17. Flight altitude of Golden Eagles in the Karatau Mountains in 2022–2024: at the upper – juveniles and adults in breeding territories, at the bottom – movements of eagles through vantage points outside breeding territories in spring, summer and autumn.



381,92±379,32 м над землёй (от 10 м до 2 км, медиана = 250 м), что достоверно выше, чем летом ($t=7,052$, $df=189$, $p<0.00000$) и осенью ($t=9,701$, $df=518$, $p<0.00000$). Доля наблюдений в ЗДР составила: весной – 29,47%, летом – 58,33% и осенью – 64,24% (рис. 17, 19).

На гнездовых участках беркуты перемещались в диапазоне высот местности от 330 до 850 м над уровнем моря, во время охоты, поднимаясь на высоты до 950 м над уровнем моря. В то же время транзитные птицы чаще наблюдались в диапазоне высот от 750 до 1600 м над уровнем моря. Это, возможно, свидетельствует о том, что над меньшими высотами они летели на большей высоте и попросту не регистрировались наблюдателями. По крайней мере, к передовым складкам Каратау над равниной с меньшими высотами над уровнем моря, орлы подлетали на значительно больших высотах над землёй, чем перемещались в горах. Наблюдения за перемещениями беркутов на гнездовых участках показали,

tions (Figs. 17, 18, Appendix 5³⁰). At vantage points in the Karatau Mountains outside the breeding territories, GEs flew at higher altitudes (170.9 ± 224.55 m, median = 90 m, $n=616$, lim 8–1600 m) than in the nesting areas, with a reliable difference in means ($t=2.696$, $df=1739$, $p=0.00709$). Accordingly, 57.95% of observations are in the RSZ, slightly less than in the breeding territories, but the difference is not fundamental.

We found differences in the flight altitude above the ground for different seasons (Fig. 17, 19). If in summer, at points outside the breeding territories, GEs were noted at an average altitude ($n=96$) of 101.25 ± 90.09 m (from 10 to 400 m, median = 60 m), then in autumn, the eagles' flight altitude was on average ($n=425$) 139.46 ± 165.38 m (from 3 m to 1 km, median = 80 m), which is higher than in summer ($t=-2.19$, $df=519$, $p=0.03$). In spring, eagle flights were recorded at an average altitude ($n=95$) of 381.92 ± 379.32 m above the ground (from 10 m to 2 km, median = 250 m), which is significantly higher than in

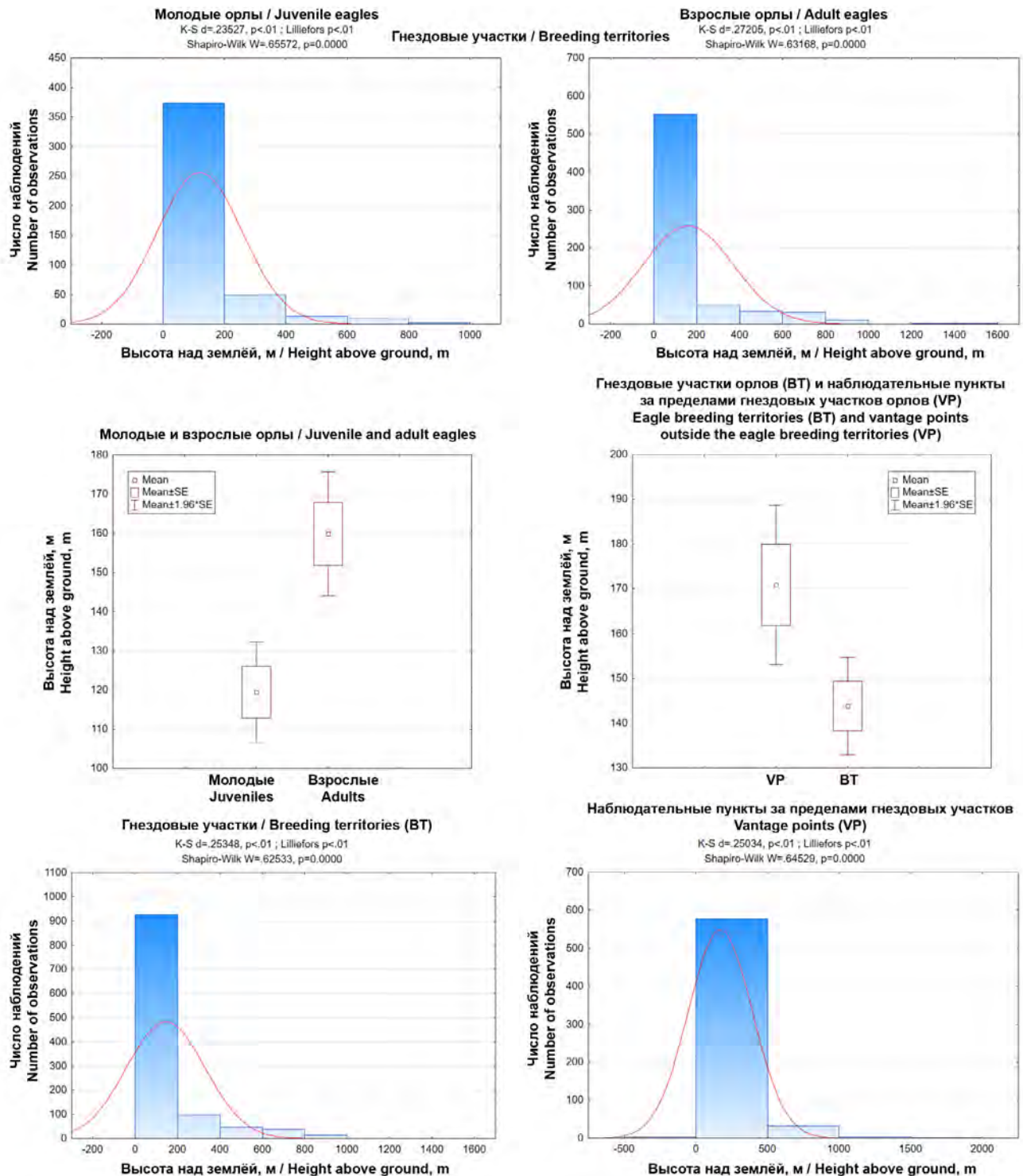


Рис. 18. Гистограммы высоты полёта (в м над землёй) беркута в Каратау: молодые и взрослые птицы (вверху), гнездовые участки и точки наблюдения за их пределами (внизу); диаграммы размаха высоты полёта беркута в Каратау: молодые и взрослые птицы (в центре слева), гнездовые участки и точки наблюдения за их пределами (в центре справа).

Fig. 18. Histograms of flight altitude (in m above ground) of the Golden Eagles in Karatau: juveniles and adults (at the upper), breeding territories and vantage points outside them (at the bottom); box-and-whiskers plots of the flight altitude range of the Golden Eagle in Karatau: juveniles and adults (centre at the left), breeding territories and vantage points outside them (centre at the right).

что чем выше горы, тем ниже орлы в них летают. В диапазоне высот от 330 до 550 м над уровнем моря высота полёта молодых беркутов составила в среднем ($n=9$) $350,44 \pm 286,15$ м над землёй (43–978 м),

summer ($t=7.052$, $df=189$, $p<0.00000$) and autumn ($t=9.701$, $df=518$, $p<0.00000$). The proportion of observations in the RSZ was: in spring – 29.47%, in summer – 58.33% and in autumn – 64.24% (Fig. 17, 19).

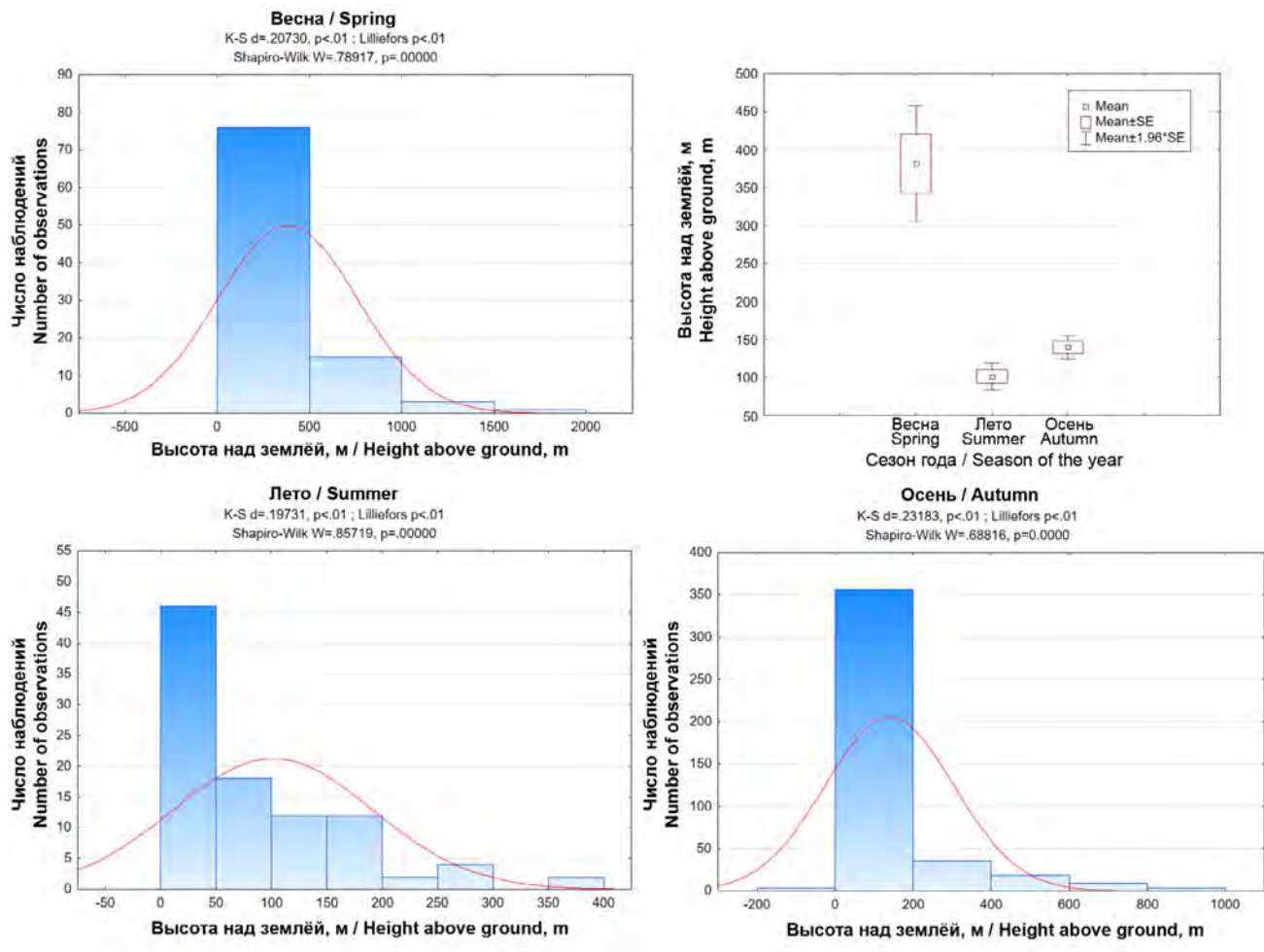


Рис. 19. Гистограммы и диаграмма размаха высоты полёта (в м над землёй) беркута в Каратау: весна, лето и осень на точках наблюдения за пределами гнездовых участков орлов.

Fig. 19. Histograms and box-and-whiskers plot of the flight altitude (in m above ground) of the Golden Eagles in Karatau: spring, summer and autumn at vantage points outside the eagles' breeding territories.

взрослых – ($n=81$) $258,74 \pm 297,11$ (23–1600 м). На высотах 750–1600 м над уровнем моря эти показатели были ниже в обеих возрастных группах орлов: у молодых птиц – ($n=180$) $84,79 \pm 77,6$ м (5–338 м), у взрослых – ($n=208$) $112,35 \pm 154,25$ м (8–984 м) (рис. 20). За пределами гнездовых участков в летний период беркуты вообще избегали полёты над местностью, лежащей выше 950 м над уровнем моря (рис. 21). В высотном диапазоне местности от 651 до 850 м над уровнем моря в ЗДР отмечено 69,08% пролётов молодых птиц и 73,48% – взрослых. В остальных высотных диапазонах местности доля пролётов через ЗДР как взрослых, так и молодых птиц варьировала от 51,67 до 57,75% (табл. 10). Вне гнездовых участков беркуты наблюдались над высотами в диапазоне от 760 до 1535 м над уровнем моря, в среднем ($n=528$) $956,54 \pm 127,72$ м. Мигранты обычно пересекали горы на достаточно больших высотах, пролетая над гнездовыми участками местных беркутов

In breeding territories, GEs moved in the elevation range from 330 to 850 m above sea level while hunting, rising to 950 m above sea level. At the same time, transient birds were more often observed in elevations ranging from 750 to 1600 m above sea level. This may indicate that they flew at a higher elevation over lower altitudes and were not recorded by observers. At least, the eagles flew to the advanced folds of the Karatau over the plain with lower elevations above sea level and significantly higher altitudes above the ground than they moved in the mountains. Observations of the movements of GEs in breeding territories showed that the higher the mountains, the lower the eagles fly in them. In the elevation range from 330 to 550 m above sea level, the flight altitude of juveniles averaged ($n=9$) 350.44 ± 286.15 m above the ground (43–978 m), and of adults ($n=81$) 258.74 ± 297.11 (23–1600 m). At elevation of 750–1600 m above sea level, these indicators were lower in both age groups of eagles: in

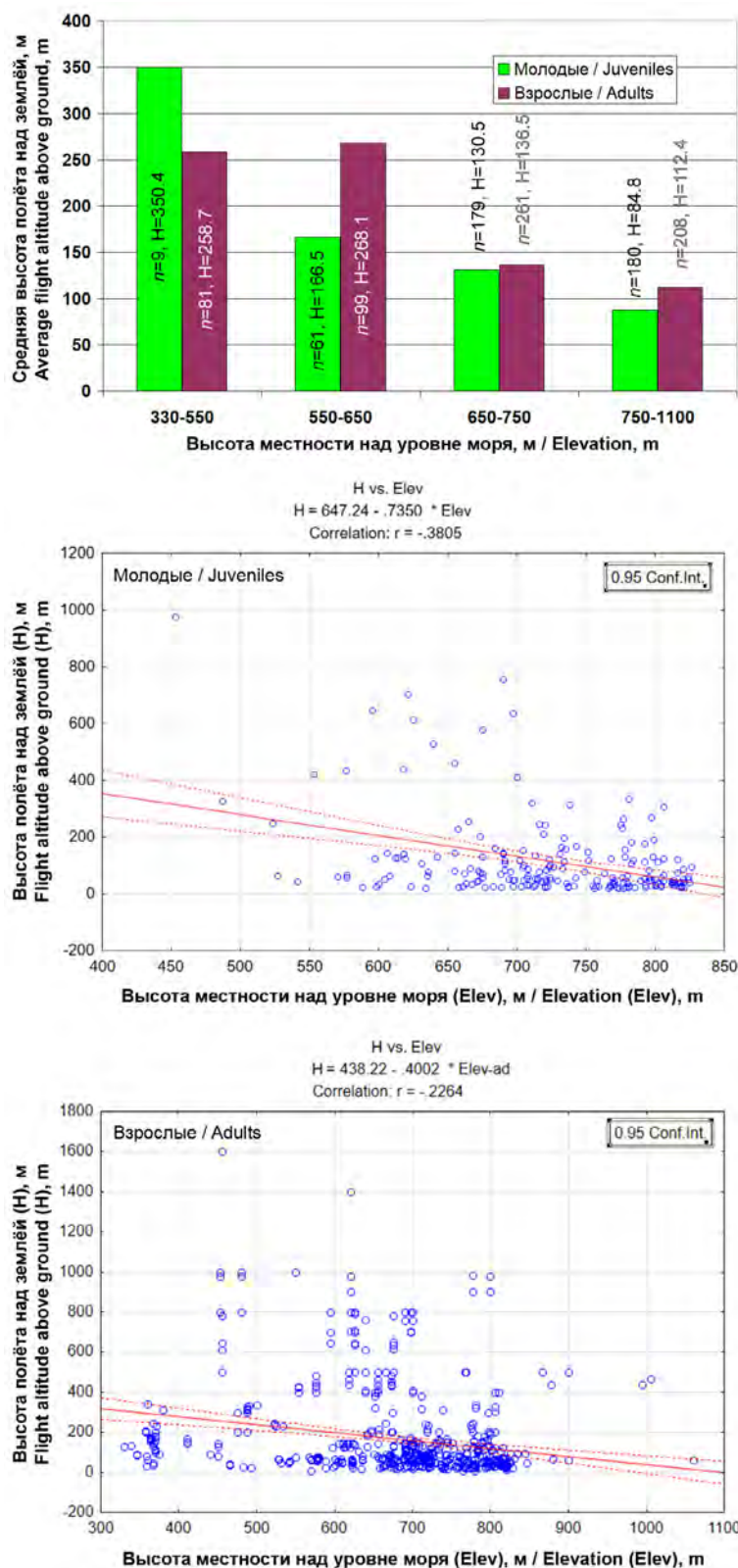


Рис. 20. Высота полёта беркутов на гнездовых участках в зависимости от высоты местности.

Fig. 20. The Golden Eagles' flight altitude in breeding territories on different terrain elevations.

young birds – ($n=180$) 84.79 ± 77.6 m (5–338 m), and in adults – ($n=208$) 112.35 ± 154.25 m (8–984 m) (Fig. 20). Outside the breeding territories, GEs generally avoided flying over terrain located above 950 m above sea level in the summer (Fig. 21). In the elevation range of terrain from 651 to 850 m above sea level, 69.08% of flights of young birds and 73.48% of flights of adults were recorded in the RSZ. In the remaining elevation ranges of terrain, the proportion of adults and juveniles who flew through the RSZ varied from 51.67 to 57.75% (Table 10). Outside the breeding territories, GEs were observed at elevations ranging from 760 to 1535 m above sea level, with an average ($n=528$) of 956.54 ± 127.72 m. Migrants usually crossed the mountains at pretty high altitudes, flying over the breeding territories of local Golden Eagles at an altitude above the ground 1.5 times greater than that at which local birds typically moved. During spring and autumn migrations, the lowest flight altitude above the ground of migration eagles was observed in the elevation range from 950 to 1000 m above sea level. Above such elevation, eagles moved on average ($n=129$) 122.47 ± 137.70 m (lim 3–900 m) above the ground in autumn and ($n=15$) 206.0 ± 246.8 m (lim 40–1000 m) in spring. During autumn migration, 63.51–68.57% of GEs flew through the RSZ over areas with elevation from 650 to 1600 m above sea level, while during spring migration in the same elevation range, the proportion of eagle flights through the RSZ varied from 0 (651–850 m above sea level) to 55.56% (851–1050 m above sea level). Interestingly, in the elevation range of the terrain above 1000 m above sea level, only 38.46% of GEs flew through the RSZ, covering only the upper range of this zone (Table 10). We included these parameters of eagle movements in the risk calculation model.

We selected linear fragments between locations where a rapid lift was observed at short distances (more than 100 m per minute, $n=177$) and compared them with the orography of the terrain. Most of the observations (62.71%) were in the orographic lift zone, mainly above the gorges of the advanced folds of the Karatau; the remaining 37.29% were in the thermal lift zone. The analysis of the altitude of the flight showed that of the 111 ob-

на высоте над землёй в 1,5 раза большей, чем та, на которой в норме перемещались местные птицы. Наименьшая высота полёта над землёй транзитных орлов, как на весенней, так и на осенней миграциях, наблюдалась в диапазоне высот от 950 до 1000 м над уровнем моря. Над такими вы-

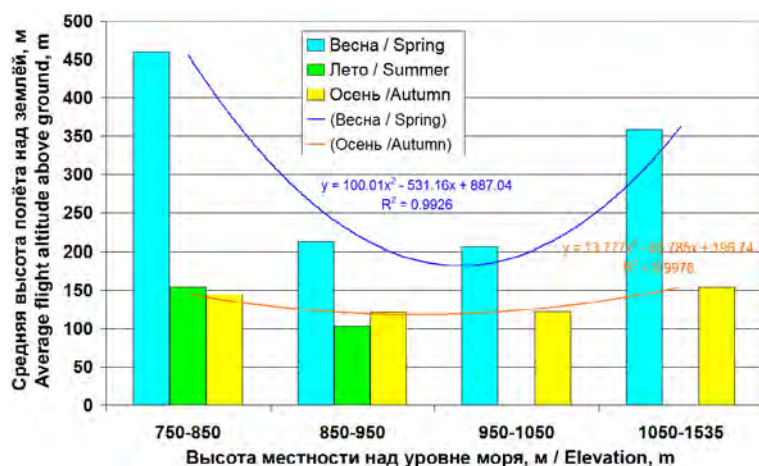


Рис. 21. Высота полёта беркутов за пределами гнездовых участков в зависимости от высоты местности.

Fig. 21. The Golden Eagles' flight altitude outside breeding territories on different terrain elevations.

сотами местности орлы перемещались в среднем ($n=129$) на $122,47 \pm 137,70$ м (lim 3–900 м) над землёй осенью, и ($n=15$) на $206,0 \pm 246,8$ м (lim 40–1000 м) – весной. На осенней миграции 63,51–68,57% беркутов пролетало через ЗДР над местностью с высотой от 650 до 1600 м над уровнем моря, в то время как на весенней миграции в этом же высотном диапазоне доля пролётов орлов через ЗДР варьировала от 0 (651–850

servations in the orographic lift zone, 91.89% (102 observations) were in the RSZ. Of the 66 observations of lift in thermals, only 33.33% (22 observations) were in the RSZ.

Damage to the Golden Eagle population caused by the Zhanatas and Shokpar wind farms

Monitoring of GE breeding territories within a 45 km radius around the Zhanatas and Shokpar wind farms showed that from 2022 to 2024, GEs abandoned only three nesting sites located within a 4-km zone from the nearest turbines (Fig. 22). After the launch of the first line of the Zhanatas wind farm in 2021, the following year GEs stopped breeding in the breeding territory located in the gorge through which the wind farm was built (with a 5 km

Табл. 10. Зависимость высоты полёта беркутов над землёй от высоты местности над уровнем моря и доля наблюдений птиц в полёте на высотах зоны движения ротора (29–151 м).

Table 10. Dependence of the flight altitude of the Golden Eagles above the ground on the elevation of the terrain above sea level and the proportion of observations of birds in flight at altitudes of the rotor movement zone (29–151 m).

Высоты полёта над землёй (м) для возрастной группы или сезона Flight altitudes above ground (m) for age group or season	Интервалы высоты местности (м над уровнем моря) Elevation intervals (m above sea level)			
	330–650	651–850	851–1050	1051–1600
Молодые на гнездовых участках Juveniles on breeding territories	193.38 ± 218.23 ($n=71$) 20–980	107.59 ± 116.04 ($n=359$) 5–783		нет наблюдений no obs.
Доля полётов в ЗДР / Share of flights in RSZ	57.75	69.08		-
Взрослые на гнездовых участках и наблюдательных пунктах летом Adults on breeding territories and vantage points in summer	263.86 ± 289.71 ($n=180$) 10–1600	120.34 ± 141.76 ($n=509$) 8–984	133.45 ± 135.53 ($n=56$) 10–500	нет наблюдений no obs.
Доля полётов в ЗДР / Share of flights in RSZ	51.67	73.48	55.36	-
Все возрастные группы на гнездовых участках и наблюдательных пунктах летом All age groups on breeding territories and vantage points in summer	244.53 ± 273.22 ($n=250$) 10–1600	115.07 ± 138.29 ($n=868$) 5–984	133.45 ± 135.53 ($n=56$) 10–500	нет наблюдений no obs.
Доля полётов в ЗДР / Share of flights in RSZ	52.8	71.43	55.36	-
Мигранты на осеннем пролёте Migrants on autumn migration	нет наблюдений no obs.	144.43 ± 146.99 ($n=35$) 5–600	122.76 ± 143.96 ($n=268$) 3–900	154.32 ± 175.81 ($n=74$) 15–900
Доля полётов в ЗДР / Share of flights in RSZ	-	68.57	67.91	63.51
Мигранты на весеннем пролёте Migrants on spring migration	нет наблюдений no obs.	460.0 ± 328.63 ($n=5$) 200–1000	208.89 ± 200.35 ($n=27$) 40–1000	358.56 ± 421.73 ($n=13$) 100–1600
Доля полётов в ЗДР / Share of flights in RSZ	-	0	55.56	38.46
Мигранты на весеннем и осеннем пролёте Migrants on spring and autumn migration	нет наблюдений no obs.	178.33 ± 202.25 ($n=39$) 5–1000	131.55 ± 152.17 ($n=296$) 3–1000	184.84 ± 237.53 ($n=87$) 15–1600
Доля полётов в ЗДР / Share of flights in RSZ	-	61.54	66.55	59.77

м над уровне моря) до 55,56% (851–1050 м над уровне моря). Интересно, что в высотном диапазоне местности выше 1000 м над уровнем моря, лишь 38,46% беркутов пролетало через ЗДР, захватывая лишь верхний диапазон этой зоны (табл. 10). Эти параметры перемещений орлов мы включили в модель расчёта рисков.

Мы выбрали линейные фрагменты между локациями, на которых при коротких дистанциях наблюдался быстрый набор высоты (более 100 м в минуту, $n=177$) и сравнили их с орографией местности. Большая часть наблюдений (62,71%) оказалась в зоне орографического подъёма, преимущественно над ущельями передовых складок Каратау, остальные 37,29% – в зоне термического подъёма. Анализ высот показал, что из 111 наблюдений в зоне орографического подъёма 91,89% (102 наблюдения) лежали в ЗДР, а из 66 наблюдений подъёма в термиках на ЗДР пришлось лишь 33,33% (22 наблюдения).

Ущерб популяции беркутов, нанесённый Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар»

Мониторинг гнездовых участков беркутов в радиусе 45 км вокруг Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар», показал, что с 2022 по 2024 гг. беркутами были покинуты только 3 гнездовых участка, расположенные в 4-х километровой зоне от ближайших турбин (рис. 22). После запуска первой линии Жанатасской ВЭС в 2021 г., беркуты на следующий год прекратили размножение на гнездовом участке, лежащем в ущелье, через которое была построена ВЭС (с разрывом в 5 км между турбинами в районе ущелья), где расстояние от гнезда до ближайших турбин в юго-западном и юго-восточном направлениях составило 3,79 и 4,15 км соответственно. В 2022 г. на участке ещё держалась одна птица, но после столкновения с лопастью турбины ВЭС, она пропала, и участок перешёл в разряд пустующих. Инцидент произошёл 20 сентября 2022 г.: беркут во время охотничьего облёта территории в парящем полёте вошёл в ЗДР и был сбит лопастью, упал на землю, но остался жив. Птица в течение 3 часов перемещалась по земле, сидела на камнях, потом скрылась в ущелье. При осмотре этой турбины под ней были найдены старые останки степного орла (*Aquila nipalensis*), но останки беркута не были обнаружены. Лишь в сентябре 2024 г. мы нашли останки беркута под турбиной, построенной в 6,36 км от гнезда этой пары, но также и в 4,39 км от гнезда соседней пары, участок которой также пре-

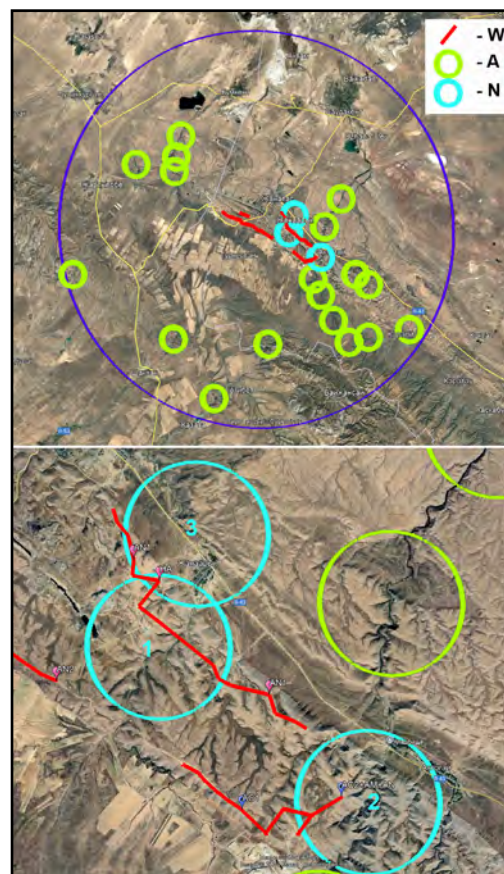


Рис. 22. Активные (А) и покинутые птицами (N) гнездовые участки беркута в 45-километровой зоне (синий круг) от Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» (W). Нумерация гнездовых участков соответствует таковой в тексте. Синими значками обозначены турбины, под которыми обнаружены останки беркутов, розовыми – других крупных хищных птиц.

Fig. 22. Active (A) and abandoned (N) breeding territories of the Golden Eagle in the 45-kilometer zone (blue circle) from the Zhanatas and Shokpar wind farms (W). The numbering of breeding territories corresponds to that in the text. Blue icons indicate turbines under which remains of the Golden Eagles were found, pink icons indicate remains of other large birds of prey.

gap between the turbines in the gorge area), where the distance from the nest to the nearest turbines in the southwestern and southeastern directions was 3.79 and 4.15 km, respectively. In 2022, there was still one bird in the area, but after a collision with a wind turbine blade, it disappeared, and the area became vacant. The incident occurred on September 20, 2022: a GE, during a hunting flight around the area, entered the RSZ in a hovering flight and was hit by a blade, fell to the ground, but survived. The bird moved along the ground for 3 hours, sat on stones, and disappeared into the gorge. During an inspection of this turbine, old remains of a Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) were found under it, but the remains of

кратил существование, но позже – в 2024 г. Возможно, что останки принадлежали птице со второго гнездового участка, также попавшего в зону влияния Жанатасской ВЭС. На этом участке размножение орлов наблюдалось ещё в 2023 г., но уже в 2024 г. птицы здесь не были встречены. Причём останки ещё одного беркута (судя по сохранности перьев, погибшего осенью 2023 г.) были обнаружены на этом участке под турбиной, установленной всего в 1 км от гнезда беркутов, на вершине возвышенности прямо напротив гнезда через ущелье. Под этой же турбиной были обнаружены старые кости степного орла, погибшего явно в 2022 г. и останки грифа (*Aegypius monachus*), погибшего весной 2024 г. Третий гнездовой участок беркутов, прекративший своё существование на рассматриваемой территории, был оставлен птицами в 2024 г. после запуска ВЭС «Шокпар». Ближайшие турбины были построены в 2,21 км от гнезда орлов, на котором размножение было отмечено в 2022 г. На предмет гибели птиц нам не удалось осмотреть все турбины, лежащие на дистанции до 4 км от этого гнезда беркутов, но под двумя ближайшими к гнезду турбинами (2,21 и 2,40 км) были обнаружены останки орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*) и степного орла, погибших, вероятно, весной 2024 г. Останков беркута найдено не было, но это не исключает того, что птицы погибли под этими или под соседними турбинами. Так как поиск останков птиц нами велся в радиусе всего лишь 100 м от турбин, то высока вероятность пропуска останков, которые при сильном ветре после столкновения могли быть отнесены на большее расстояние, или вообще утилизированы четвероногими хищниками или пастушьими собаками.

Таким образом, мы можем констатировать факт прекращения гнездования беркутов на всех гнездовых участках, на которых турбины ВЭС были установлены на дистанциях от 1 до 4,4 км от активных гнёзд. Вероятно, что все они прекратили существование по причине гибели птиц на турбинах ВЭС в результате столкновения с лопастями. Прямые доказательства этому получены только для 2-х турбин, но, так как на других турбинах тоже отмечена гибель разных видов крупных птиц, то можно считать, что именно смертность по причине столкновения лежит в основе прекращения гнездования беркутов на участках, попавших в 4,5 км зону влияния ВЭС. Гнездовые участки беркута, расположенные далее 4,5 км от турбин ВЭС, остаются

the GE were not found. Only in September 2024, we found the remains of a GE under a turbine built 6.36 km from the nest of this pair and 4.39 km from the nest of a neighbouring pair, whose site also ceased to exist later – in 2024. It is possible that the remains belonged to a bird from the second breeding territory, which also fell into the influence zone of the Zhanatas wind farm. In this breeding territory, eagles were observed breeding back in 2023, but in 2024, birds were not encountered here. Moreover, the remains of another GE (judging by the preservation of feathers, it died in the fall of 2023) were found in this breeding territory under a turbine installed just 1 km from the GE nest, on the top of a hill directly opposite the nest across the gorge. Under the same turbine, the old bones of a Steppe Eagle were discovered, which died in 2022, and the remains of a Cinereous Vulture (*Aegypius monachus*) passed in the spring of 2024. The third breeding territory of GE, which ceased to exist in the territory under consideration, was abandoned by the birds in 2024 after the launch of the Shokpar wind farm. The nearest turbines were built 2.21 km from the eagle nest. Breeding was noted in this nest in 2022. We could not inspect all the turbines within 4 km of this GE nest for bird deaths. Still, the remains of a White-Tailed Eagle (*Haliaeetus albicilla*) and a Steppe Eagle were found under the two turbines closest to the nest (2.21 and 2.40 km), which probably died in the spring of 2024. No golden eagle remains were found, but this does not exclude the possibility that the birds were killed under these or neighbouring turbines. Since we searched for bird remains within a radius of only 100 m from the turbines, there is a high probability of missing the remains, which, in a strong wind after a collision, could have been carried a greater distance or even disposed of by four-legged predators or shepherd dogs.

Thus, we can state the fact of the cessation of nesting of Golden Eagles in all breeding territories where wind farm turbines were installed at distances from 1 to 4.4 km from active nests. All of them likely ceased to exist due to the death of birds on wind farm turbines due to collisions with blades. Direct evidence of this was obtained only for two turbines. Still, since the death of various species of large birds of prey was also cancelled on other turbines, it can be assumed that mortality is due to collisions that underlie the cessation of nesting of GEs in areas within the 4.5 km zone of influence of the wind farm. Breeding territories of the GE located further than 4.5 km from the wind farm turbines remain active, including

ся активными, в том числе и ближайший, лежащий к юго-востоку от ВЭС. На этом гнездовом участке беркутов между ВЭС и гнездом расположен карьер предприятия «Еврохим», который, вероятно, отпугивает птиц, и они не перемещаются в сторону ВЭС, что подтверждено регулярными визуальными наблюдениями на этом участке.

Оценка риска столкновения беркутов с турбинами Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар»

Высота местности на точках установки турбин Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» варьировала от 659 до 871 м над уровнем моря, составив в среднем (для 58 турбин) $789,21 \pm 54,21$ м над уровнем моря. Это соответствует диапазону высот, в котором на гнездовых участках беркуты в 73,48%

the nearest one, located to the southeast of the wind farm. In this breeding territory of GE, between the wind farm and the nest, there is a quarry of the EuroChem enterprise, which probably scares the birds away, and they do not move towards the wind farm, which is confirmed by regular visual observations in this area.

Assessing the risk of Golden Eagles colliding with the turbines of the Zhanatas and the Shokpar Wind Farms

The elevation of the terrain at the installation sites of the wind turbines of the Zhanatas and the Shokpar WPPs varied from 659 to 871 m above sea level, averaging (for 58 turbines) 789.21 ± 54.21 m above sea level. This corresponds to the elevation range in which GE were recorded at the breed-

Табл. 11. Расчёт α и p (столкновения) как функции радиуса для оценки риска столкновения беркутов с турбинами Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» в модели CRM «Band» для следующих параметров: число лопастей – 3, максимальная хорда 4,21 м, шаг 15°, длина птицы – 0,85 м, размах крыльев – 2,15 м, тип полёта – скольжение (+1), доля полётов против ветра – 50%, скорость птицы – 7,28 м/с, радиус ротора – 60,5 м, скорость вращения лопастей – 5 об./мин, период вращения – 12 сек., соотношение сторон птицы: $\beta=0,40$, интервал интеграции – 0,05.

Table 11. Calculation of α and p (collision) as a function of radius to assess the risk of collision of the Golden Eagles with Zhanatas and Shokpar WPPs turbines in the model CRM “Band” for the following parameters: number of blades – 3, max chord – 4.21 m, pitch – 15°, bird length – 0.85 m, wingspan – 2.15 m, flight type – gliding (+1), proportion of flights upwind – 50%, bird speed – 7.28 m/s, 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)	α	Против ветра / Upwind:		По ветру / Downwind:	
			length	p (collision)	length	p (collision)
0				1		1
0.05	0.73	4.6	20.73	0.712	19.14	0.66
0.1	0.79	2.3	11.39	0.391	9.67	0.33
0.15	0.88	1.53	8.54	0.293	6.62	0.23
0.2	0.96	1.15	7.1	0.244	5.01	0.17
0.25	1	0.92	6.09	0.209	3.91	0.13
0.3	0.98	0.77	5.17	0.178	3.03	0.10
0.35	0.92	0.66	4.36	0.15	2.35	0.08
0.4	0.85	0.57	3.7	0.127	1.85	0.06
0.45	0.8	0.51	3.23	0.111	1.49	0.05
0.5	0.75	0.46	2.85	0.098	1.21	0.04
0.55	0.7	0.42	2.52	0.087	1.00	0.03
0.6	0.64	0.38	2.54	0.087	1.15	0.04
0.65	0.58	0.35	2.32	0.08	1.05	0.04
0.7	0.52	0.33	2.11	0.072	0.98	0.03
0.75	0.47	0.31	1.95	0.067	0.92	0.03
0.8	0.41	0.29	1.78	0.061	0.88	0.03
0.85	0.37	0.27	1.66	0.057	0.85	0.03
0.9	0.3	0.26	1.49	0.051	0.87	0.03
0.95	0.24	0.24	1.35	0.046	0.88	0.03
1	0	0.23	0.85	0.029	0.85	0.03
Риск столкновения / Collision risk				9.3%		5.3%
Среднее / Average						7.3%

Табл. 12. Оценка риска столкновений беркутов с ветровыми турбинами Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» с учётом коэффициента уклонения от столкновения.

Table 12. Risk assessment of collisions of Golden Eagles with wind turbines of Zhanatas WPP, taking into account the collision avoidance factor.

	Месяц / Month												За год
	Янв	Фев	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Ноя	Дек	Per
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	annum
Вариант 1 – Базовая модель: риск столкновения при прохождении одного ротора (7,5%)													
<i>Option 1 – Basic model: Collision risk for single rotor transit (7.5%)</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы													
Potential bird transits through rotors	448	582	651	665	703	712	825	765	831	832	645	462	8118
Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)*													
Collisions for entire windfarm (birds per month)*	24	34	39	37	36	35	41	39	48	51	38	26	448
Вариант 2 – Базовая модель с использованием пропорции из распределения высот полёта													
<i>Option 2 – Basic model using proportion from flight distribution</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы													
Potential bird transits through rotors	27	38	44	41	40	39	46	44	54	57	42	30	502
Вариант 3 – Расширенная модель с использованием распределения высоты полёта (пропорция на высоте ротора 80,02%, интеграл потока 0,7341, интеграл столкновений 0,05013, средний риск столкновения при прохождении одного ротора 6,8%)													
<i>Option 3 – Advanced model using flight height distribution (proportion at rotor height 80.02%, flux integral 0.7341, collision integral 0.05013, average collision risk for single rotor transit 6.8%)</i>													
Потенциальное число птиц, пролетающих через роторы													
Potential bird transits through rotors	460	598	669	683	722	731	847	786	854	855	662	475	8343
Число столкновений для всей ВЭС (ос./месяц)*													
Collisions for entire windfarm (birds per month)*	23	33	38	36	34	33	40	38	47	49	36	25	431
Итоговая оценка риска столкновений для всей ВЭС с учётом уклонения													
<i>Final assessment of the risk of collisions for entire windfarm with avoidance</i>													
Число столкновений (ос./месяц) при уровне уклонения 96%													
Collisions (birds per month) assuming avoidance rate 96%	0.936	1.308	1.507	1.425	1.370	1.328	1.594	1.504	1.861	1.946	1.449	1.016	17
Число столкновений (ос./месяц) при уровне уклонения 98%													
Collisions (birds per month) assuming avoidance rate 98%	0.468	0.654	0.753	0.713	0.685	0.664	0.797	0.752	0.930	0.973	0.725	0.508	9
Число столкновений (ос./месяц) при уровне уклонения 99%													
Collisions (birds per month) assuming avoidance rate 99%	0.234	0.327	0.377	0.356	0.343	0.332	0.399	0.376	0.465	0.487	0.362	0.254	4

Примечания / Notes:

* – 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.

случаев регистрировались на высотах ЗДР (см. табл. 10). Плотность беркутов в дневное время в разные месяцы в зоне влияния обеих ВЭС варьировала от 1,4 до 2,2 особей/100 км² и была максимальной в октябре, когда к местным птицам добавились мигранты.

Расчёт α и p (столкновения) как функции радиуса для оценки риска столкновения беркутов с турбинами Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» в базовой модели CRM

ing territories at the altitudes of the RSZ in 73.48% of cases (see Table 10). The density of Golden Eagles during the daytime in different months in the influence zone of both WPPs varied from 1.4 to 2.2 individuals/100 km² and was highest in October, when migrants joined the local birds.

The calculation of α and p (collision) as a function of the radius for assessing the risk of collision of Golden Eagles with the turbines

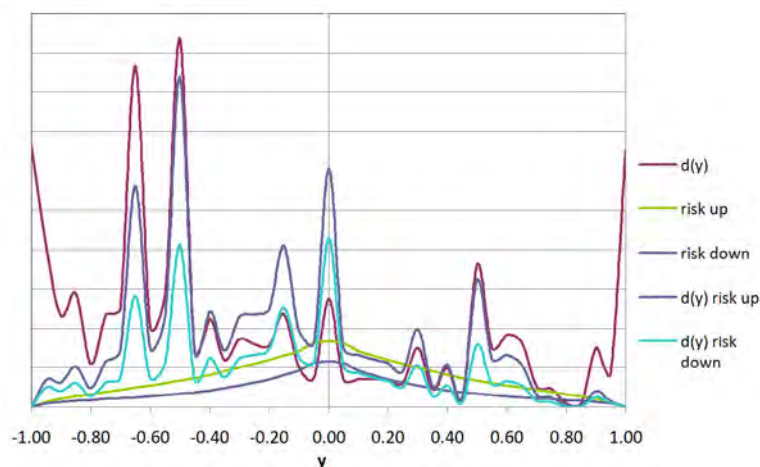


Рис. 23. График оценки риска столкновений беркутов с лопастями турбин в модели, использующей показатели высоты полёта птиц. Параметры: скорректированная доля птиц, летящих на высоте ротора – 80,02%, интеграл потока – 0,7341, интеграл столкновений: против ветра – 0,0642, по ветру – 0,0361, средний – 0,0501.

Fig. 23. Graph of the risk assessment of collisions of Golden Eagles with turbine blades in model using bird flight altitudes. Parameters: adjusted percentage of birds flying at rotor height – 80.02%, flux integral – 0.7341, collision integral: upwind – 0.0642, downwind – 0.0361, mean – 0.0501.

«Band» приведён в табл. 11. Средний риск столкновения беркутов с турбинами при прохождении птиц в ЗДР составил в среднем 7,3% на турбину в год, 5,3% – по ветру, 9,3% – против ветра (при простоях ВЭС в среднем 24,2% в год, от 17,5 до 33,5% в месяц) (рис. 23).

В соответствии с базовой моделью с коррекцией по высоте полёта на Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» возможны от 460 до 855 пролётов беркутов через роторы в месяц, в среднем $695,17 \pm 134,58$ пролётов в месяц и 8343 пролёта в год. При риске столкновения на турбину в год 7,3% в базовой модели и 6,8% в скорректированной по высоте полёта птиц (Flux integral = 0,7341, Collision integral = 0,05013), число столкновений орлов с турбинами на всей территории обеих ВЭС без учёта уклонения могло бы оцениваться в среднем в $37,33 \pm 7,66$ (24–51) и $36,0 \pm 7,54$ (23–49) особей в месяц, соответственно. Годовое число столкновений мог бы достигать 448 и 431 орлов, соответственно. Но учитывая достаточно высокий уровень уклонения орлов даже при пролёте через турбины, реальный риск столкновения ниже. При прогнозе уровня уклонения от столкновений 96%, 98% и 99%, ежемесячная гибель может составлять в среднем $1,44 \pm 0,29$ (0,936–1,946), $0,72 \pm 0,15$ (0,468–0,973) и $0,36 \pm 0,07$ (0,234–0,487) особей, соответственно. Таким образом, в год на всём комплексе турбин Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» может погибнуть 17 орлов при уровне уклонения 96%, 9 – при уровне уклонения 98% и 4 – при уровне уклонения 99% (табл. 12). Так как мы на-

of the Zhanatas WPP and the Shokpar WPP in the basic CRM model “Band” is given in Table 11. The average risk of GEs colliding with turbines when birds pass through the RSZ was, on average, 7.3% per turbine per year, 5.3% downwind, 9.3% against the wind (during wind farm downtime, on average, 24.2% per year, from 17.5 to 33.5% per month) (Fig. 23).

According to the base model with flight altitude correction at Zhanatas and Shokpar WPPs, from 460 to 855 GE flights through rotors are possible per month, on average 695.17 ± 134.58 flights per month and 8343 flights per year. With the risk of collision per turbine per year of 7.3% in the base model and 6.8% in the model adjusted for bird flight altitude (Flux integral = 0.7341, Collision integral = 0.05013), the number of eagle collisions with turbines throughout the territory of both WPPs without taking into account avoidance could be estimated at an average of 37.33 ± 7.66 (24–51) and 36.0 ± 7.54 (23–49) individuals per month, respectively. The annual number of collisions could reach 448 and 431 eagles, respectively. However, given the relatively high level of eagle avoidance, even when flying through the turbines, the actual risk of collision is lower. With a predicted collision avoidance rate of 96%, 98%, and 99%, the monthly mortality rate could average 1.44 ± 0.29 (0.936–1.946), 0.72 ± 0.15 (0.468–0.973), and 0.36 ± 0.07 (0.234–0.487) individuals, respectively. **Thus, 17 eagles could die per year at the entire complex of turbines of the Zhanatas WPP and the Shokpar WPP with an avoidance rate of 96%, 9 with an avoidance rate of 98%, and 4 with**



Черепы орлов, погибших под одной из турбин Жанатасской ВЭС. 23.09.2024. Фото И. Карякина.

Skulls of eagles that died under one of the turbines of the Zhanatas wind farm. 23/09/2024. Photo by I. Karyakin.

блюдаем оставление беркутами 3-х гнездовых участков в зоне влияния ВЭС, можно предполагать гибель всех 6 взрослых птиц, а возможно и части молодых. Таким образом, прогнозируемый уровень уклонения беркутами от столкновений с турбинами на наблюдаемых ВЭС может лежать в диапазоне от 96 до 98%, но никак не выше.

Таблицы с расчётами риска гибели беркутов на Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар» доступны в формате Microsoft Excel в виде дополнительных материалов к статье (Приложение 6³¹).

Оценка риска столкновения беркутов с гипотетическими ВЭС в Каратау и Чу-Илийских горах

Для всей зоны Каратау и Чу-Илийских гор, включая прилегающие части Таласского Алатау, Казгурта, пустыни Кызылкум

an avoidance rate of 99% (Table 12). Since GE abandoned three breeding territories in the wind farm's influence zone, we can assume the death of all six adult birds, possibly some juveniles and immature ones. Thus, the predicted level of GE avoidance of collisions with turbines at the observed wind farms may lie in the 96 to 98% range, but not higher.

Tables with calculations of the risk of golden eagle death at the Zhanatas and Shokpar wind farms are available in Microsoft Excel as additional materials to the article (Appendix 6³¹).

Assessing the risk of Golden Eagles colliding with hypothetical wind farms in Karatau and Chu-Ili Mountains

For the entire Karatau and Chu-Ili Mountains area, including adjacent parts of the Talas Alatau, Kazgurt, Kyzylkum Desert and Moyunkum Sands, we constructed a 5×5 km grid (12,200 cells) to predict potential risks to Golden Eagles from hypothetical wind farms that could be built in any cell in the area under consideration. We considered standard wind turbine layout parameters (22 turbines in each cell; see Methods).

Maps of the risk of collision of GEs with wind farm turbines in the form of a regular network for nesting and migrating birds in the considered territory (Fig. 24) in shapefile format are available in Appendix 7³². The attribute tables present the number of possible eagle flights over a hypothetical wind farm, the number of potential collisions without avoidance, and the number of possible collisions with an avoidance level of 90%, 95% and 99%.

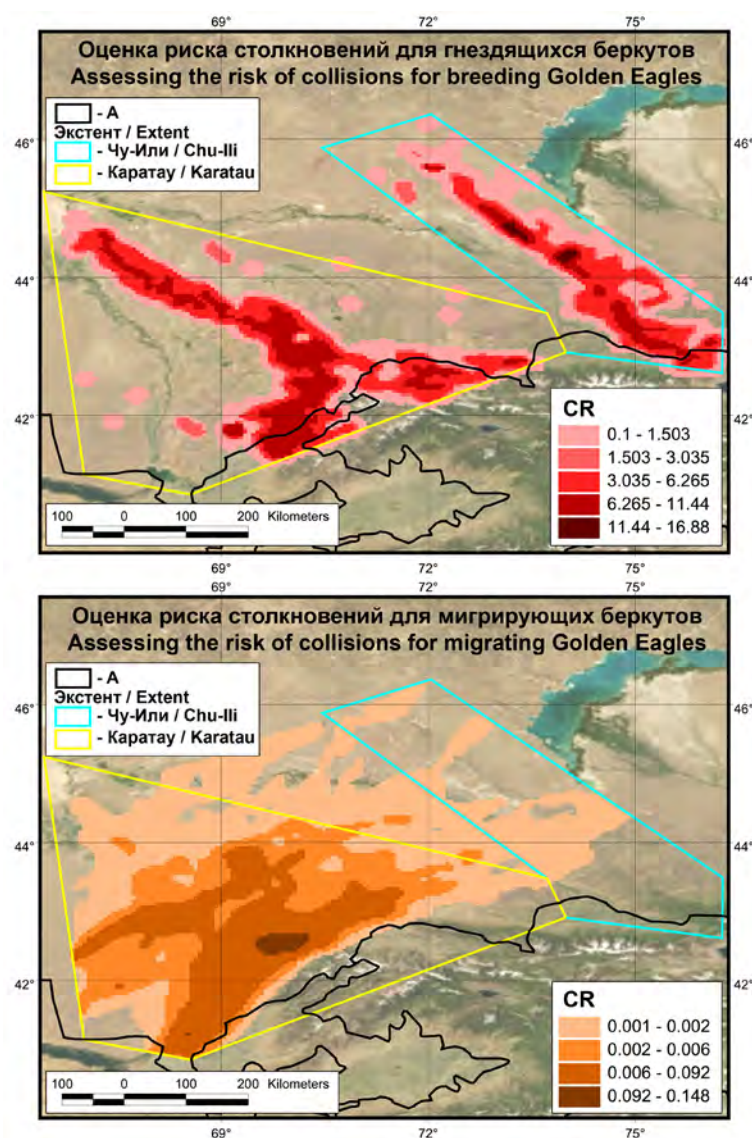


Рис. 24. Карты риска столкновений беркутов с турбинами ВЭС, выполненные в виде регулярной сети с размером ячейки 5×5 км: для гнездящихся орлов – вверху, для мигрирующих – внизу (см. Приложение 7³²). Для лучшей визуализации дан уровень уклонения 90%. Для облегчения карты, ячейки с уровнем риска менее 0,1 особи в год для гнездящихся и менее 0,001 особи в год для мигрантов удалены.

Fig. 24. Grid maps of the collision risk of Golden Eagles with wind farm turbines, with a cell size of 5×5 km: for breeding eagles – at the upper, for migratory ones – at the bottom (See Appendix 7³²). For better visualization, the avoidance level is shown as 90%. To simplify the map, cells with a risk level of less than 0.1 individuals per year for breeding eagles and less than 0.001 individuals per year for migrants have been removed.

³¹ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App6-AC.xlsm>

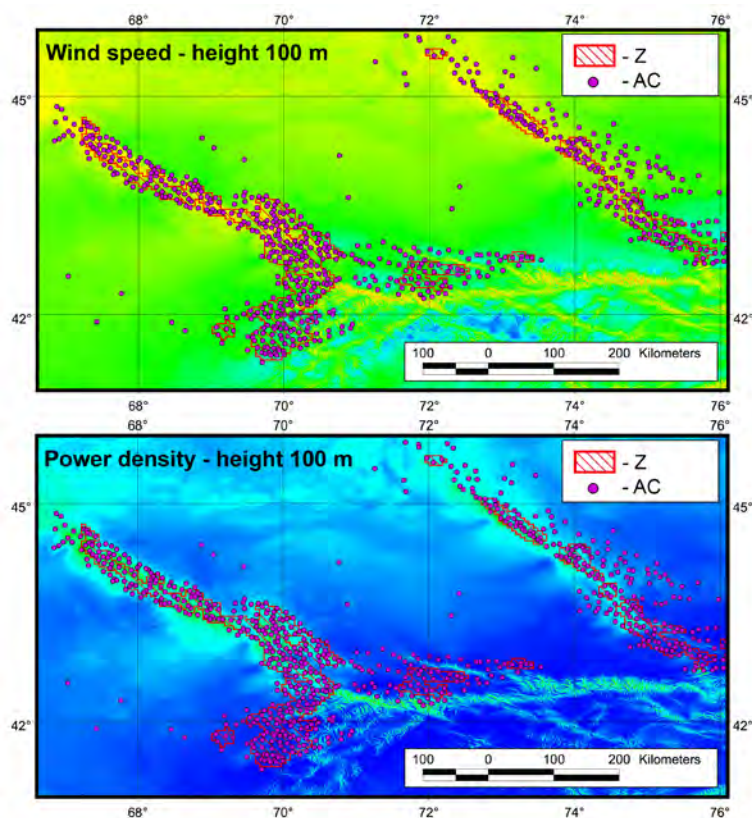


Рис. 25. Карты средней скорости ветра на высоте 100 м (вверху) и мощности ветра на высоте 100 м (внизу) с наложенным паттерном точек реальных и потенциальных гнездовых участков беркута (AC) и зонами повышенного риска столкновения беркутов с турбинами ВЭС (более 0,5 особей в год на ячейку при уровне уклонения 99%, Z).

Fig. 25. Maps of average wind speed at 100 m (at the upper) and wind power density at 100 m (at the bottom) with a superimposed pattern of points of actual and potential Golden Eagle breeding territories (AC) and zones of high collision risk of Golden Eagles with wind farm turbines (more than 0.5 individuals per year per cell at 99% avoidance level, Z).

и песков Мойынкум, мы построили сетку с ячейкой 5×5 км (12200 ячеек), чтобы спрогнозировать возможные риски для беркутов от гипотетических ВЭС, которые могут быть построены в любой ячейке на рассматриваемой территории. Мы рассматривали стандартные параметры расположения турбин (22 турбин в каждой ячейке, см. Методы).

Карты риска столкновения беркутов с турбинами ВЭС в виде регулярной сети для гнездящихся и мигрирующих птиц на рассматриваемой территории (рис. 24) в формате шейп-файлов доступны в Приложении 7³². В атрибутивных таблицах представлены: число возможных пролётов орлов через гипотетическую ВЭС, число возможных столкновений без уклонения, а также число возможных столкновений с уровнем уклонения 90%, 95% и 99%.

Для трёх ячеек в Чу-Илийских горах нами рассчитан максимальный уровень риска столкновений от 1,69 (при уровне уклонения 99%) до 16,9 (при уровне уклонения 90%) особей в год при 3061 возможном пролёте через ЗДР. Для 1135 ячеек (9,3% от всех ячеек сети, 27634,15 км²) рассчитан уровень риска столкновений выше 0,5 особей в год для уровня уклонения 99% (рис. 24).

For three cells in the Chu-Ili Mountains, we calculated the maximum eagle collision risk level from 1.69 (at a 99% avoidance rate) to 16.9 (at a 90% avoidance rate) individuals per year with 3061 possible flights through the ZDR. For 1135 cells (9.3% of all network cells, 27634.15 km²), the collision risk level was calculated to be higher than 0.5 individuals per year for a 99% avoidance rate (Fig. 24).

Risk maps show the main mortality burden falls on local (nesting) birds, which are in the wind farm influence zone almost all year round and have the maximum share of predicted flights through the RSZ, which means



Молодой беркут, пролетающий мимо турбины Жанатасской ВЭС. Фото С. Сатиметова.

Young Golden Eagle flying past the turbine of the Zhanatas wind farm. Photo by S. Satimetov.

³² <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App7-CRMap.zip>

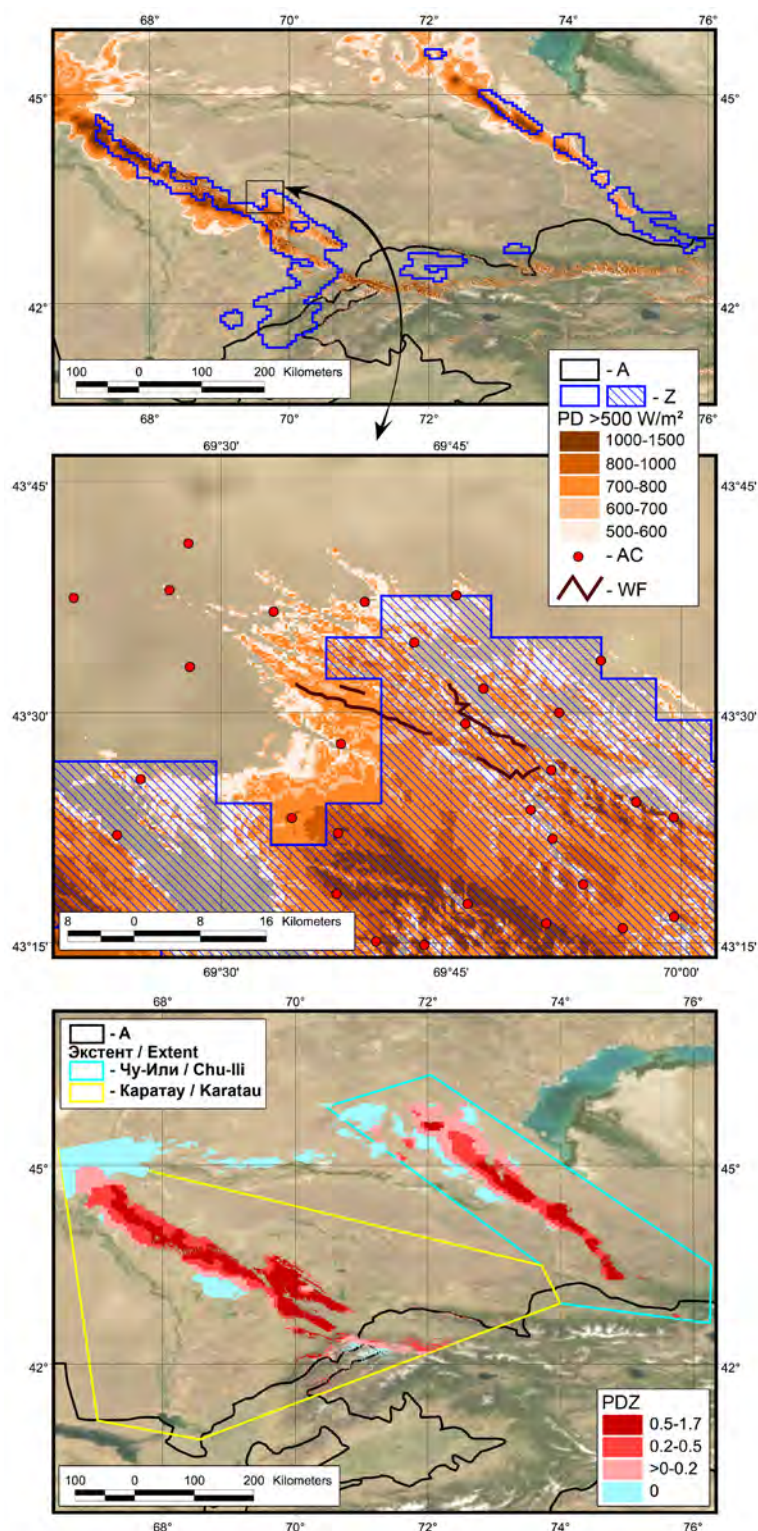


Рис. 26. Карты территорий, перспективных для развития ветроэнергетики, с мощностью ветра на высоте 100 м выше 500 Вт/м² и средней скоростью более 7 м/с: сверху – территории ранжированы по мощности ветра с наложенной зоной повышенного риска столкновений беркутов с ветрогенераторами, в центре – фрагмент этой карты в зоне влияния Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар», внизу – территории ранжированные по риску столкновений беркутов с ветрогенераторами (см. Приложение 8³³).

Fig. 26. Maps of territories promising for wind energy development, with wind power density at the height of 100 m above 500 Wt/m² and an average speed of more than 7 m/s: at the upper – territories ranked by wind power density with overlaid zones of high collision risk of Golden Eagles with wind turbines, in the center – a fragment of this map in the zone of influence of the Zhanatas and the Shokpar wind farm, at the bottom – territories ranked by the collisions risk of Golden Eagles with wind turbines (See Appendix 8³³).

that sooner or later, during the season, they collide with generator blades. Migrants have a greater chance of avoiding a collision since they are in the risk zone for only a few minutes during the season.

Prospects for minimizing damage to Golden Eagles during further development of wind energy in the region in terms of site selection

To understand to what extent the zones of increased risk of Golden Eagle collisions with wind turbines coincide with the territories promising for wind energy generation, we made their intersection with the wind map, calculating the wind speed at an altitude of 100 m and the wind power density (Fig. 25). The analysis showed that in the zone of wind power density above 500 W/m² and an average wind speed above 7 m/s, which is of maximum interest for the development of a wind farm network, 312 actual and potential breeding territories of GE are localised, which is 54.65% of the entire population in the study area, including 58.58% (273 breeding territories) in the Karatau cluster and adjacent regions and 46.4% (103 breeding territories) in the Chu-Ili Mountains cluster (Fig. 26).

The high-risk zone for eagle collisions with wind power plant turbines (more than 0.5 individuals per year per cell with an avoidance rate of 99%) covers 25.87% of the area of maximum interest for wind power development (12,621.5 km²). Moreover, sites promising for wind power generation occupy 43.5% of the total area of high-risk zones for eagle collisions with wind power plant turbines or

Как видно из карт риска, основная нагрузка смертности приходится на местных (гнездящихся) птиц, которые находятся в зоне влияния ВЭС практически круглогодично и имеют максимальную долю прогнозируемых пролётов через ЗДР, а значит, рано или поздно, в течение сезона сталкиваются с лопастями генераторов. Мигранты же имеют на порядки больше шансов избежать столкно-

вения, так как в сезон находятся считанные минуты в зоне риска.

Перспективы минимизации ущерба беркутам при дальнейшем развитии ветроэнергетики в регионе в части выбора площадок

Для того, чтобы понять, насколько зоны повышенного риска столкновения беркутов с ветрогенераторами совпадают с территориями, перспективными для выработки ветровой энергии, мы сделали их пересечение с ветровой картой, рассчитав скорость ветра на высоте 100 м и мощность ветровой энергии (рис. 25). Анализ показал, что в зоне мощности ветровой энергии выше 500 Вт/м² и средней скоростью ветра выше 7 м/с, которая является максимально интересной для развития сети ветропарков, локализовано 312 реальных и потенциальных гнездовых участков беркутов, что составляет 54,65% от всей популяции на исследуемой территории, в том числе 58,58% (273 участка) в кластере Каратау и на прилегающих территориях и 46,4% (103 участка) в кластере Чу-Илийских гор (рис. 26).

В зоне повышенного риска столкновений орлов с турбинами ВЭС (более 0,5 особей в год на ячейку при уровне уклонения 99%) находится 25,87% площади территории, максимально интересной для развития ветроэнергетики (12621,5 км²). Причём территории, перспективные для выработки ветровой энергии, занимают 43,5% от общей площади зон повышенного риска столкновений орлов с турбинами ВЭС или 12019,6 км² (рис. 26), а 56,5% зон повышенного риска столкновений орлов с турбинами ВЭС (15614,5 км²) лежит за пределами этих территорий.

Из перспективных для развития ветроэнергетики территорий, лежащих за пределами зоны повышенного риска (36172,4 км²), 28,59% (10340,8 км²) имеют умеренный риск столкновений беркутов с турбинами ВЭС (от 0,2 до 0,5 особей в год на ячейку при уровне уклонения 99%), 29,11% (10529,6 км²) – низкий риск (>0–0,2) и для 42,3% (15302,0 км²) – риск не установлен в ходе моделирования, что соответствует единичным проходам орлов в ЗДР или их отсутствию на территории.

Карты зон повышенного риска столкновений беркутов с турбинами ВЭС и зон, перспективных для развития ветроэнергетики, ранжированных по рискам для беркутов, доступны в формате шейп-файлов в Приложении 8³³.

12,019.6 км² (Fig. 26), and 56.5% of the high-risk zones for eagle collisions with wind power plant turbines (15,614.5 км²) lie outside these areas.

Of the sites promising for wind energy development outside the high-risk zone (36,172.4 км²), 28.59% (10,340.8 км²) have a moderate risk of GE collisions with wind farm turbines (from 0.2 to 0.5 individuals per year per cell at an avoidance level of 99%), 29.11% (10,529.6 км²) have a low risk (>0–0.2) and for 42.3% (15,302.0 км²) the risk was not established during the modelling, which corresponds to single passages of eagles in the RSZ or their absence in the site.

Maps of high-risk zones of Golden Eagle collisions with wind farm turbines and sites promising for wind energy development, ranked by risks for GEs, are available in shapefile format in Appendix 8³³.

Discussion

We have developed a predictive model for the distribution and abundance of nesting and migrating Golden Eagles in Karatau, the Chu-Ili Mountains, and adjacent areas. This is critical for GE conservation in southern Kazakhstan. This study fills the information gap for this species in this area.



Беркут, пролетающий мимо турбины Жанатасской ВЭС. Фото С. Сатиметова.
Golden Eagle flying past the turbine of the Zhanatas wind farm. Photo by S. Satimetov.

³³ <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2024/12/App8-zones.zip>

Обсуждение

Мы разработали прогностическую модель распределения и численности гнездящихся и мигрирующих беркутов в Каратау, Чу-Илийских горах и на прилегающих территориях, которая имеет решающее значение для сохранения этого вида на юге Казахстана. Это исследование заполняет информационный пробел, имеющийся по этому виду на данной территории.

Решение о моделировании распространения вида в едином экстенде, включающем и Каратау и Чу-Илийские горы без деления на 2 фрагмента, соответствующих двух горным системам, сказалось на полноте выделения гнездопригодных для беркута биотопов в Чу-Илийских горах, т.к. в категорию с низкой вероятностью гнездования беркута были отнесены участки, имеющие меньшую пересечённость местности, но в условиях Чу-Илийских гор заселённые беркутами. Но доля таких ложноотрицательных идентификаций оказалась низкой – всего 3 гнездовых участка из 40 выпали из контура гнездопригодных биотопов с вероятностью гнездования беркут выше 50%. Учитывая это, мы считаем результат по моделированию достаточно хорошим, для поставленной задачи – оценить риск развития ВЭС для гнездящейся популяции беркута. Естественно, проведя раздельный анализ по Каратау и Чу-Илийским горам, можно было бы добиться лучших результатов в части выделения гнездопригодных для беркута биотопов в Чу-Илийских горах, но это бы увеличило временные затраты на подготовку данных, проведение анализа и обработку результатов, качественно улучшив их на несколько процентов.

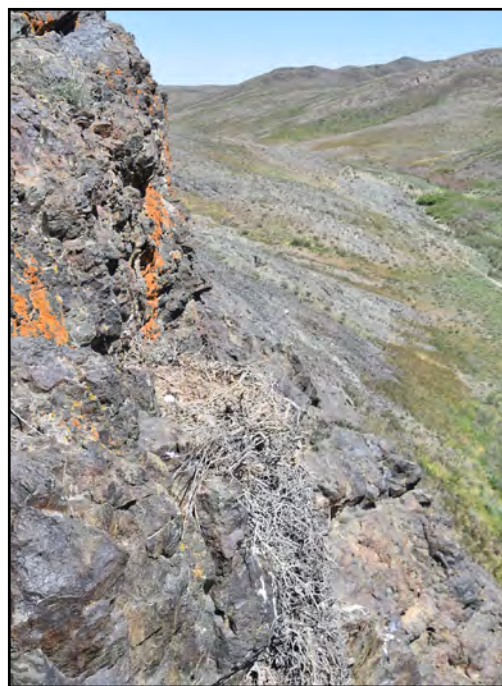
Наше моделирование показало, что 15 переменных внесли 73,44% вклада в построение итоговой модели распространения беркута на гнездовании в Каратау и Чу-Илийских горах, 7 из которых это топографические индексы местности (в особенности неровность поверхности), 4 – биоклиматические индексы, 2 – ветровые характеристики местности и 2 – вегетационные индексы. Учитывая то, что беркут на рассматриваемой территории тяготеет на гнездовании к крутосклонам гор со скальными обнажениями, важность топографических переменных была изначально очевидна. Топографические индексы также вносили до 94,2% вклада в модели распространения беркута в США (сделанные в MaxEnt), а скалы и крутые склоны, были важными предикторами во всех региональных моделях; дополнительными

The decision to model the distribution of the species to a single extent, including both Karatau and the Chu-Ili Mountains, without dividing it into two fragments corresponding to the two mountain systems, affected the completeness of the selection of habitats suitable for nesting golden eagles in the Chu-Ili Mountains since the category with a low probability of nesting GEs included areas with less rugged terrain, but inhabited by eagles in the conditions of the Chu-Ili Mountains. However, the share of such false negative identifications was low – only three nesting sites out of 40 fell out of the contour of breeding biotopes with a probability of GE nesting above 50%. Considering this, we believe the modelling result to be quite good for the task at hand – to assess the risk of wind farm development for the breeding GE population. Naturally, by conducting a separate analysis for Karatau and the Chu-Ili Mountains, it would be possible to achieve better results in terms of identifying breeding biotopes for GE in the Chu-Ili Mountains, but this would increase the time spent on data preparation, analysis and processing of results, improving their quality by several percents.

Our modelling showed that 15 variables contributed 73.44% to the final model of GE breeding distribution in the Karatau and Chu-Ili Mountains, 7 of which were topographic indices of the terrain (especially surface roughness), 4 were bioclimatic indices, 2 were wind characteristics of the terrain, and 2 were vegetation indices. Considering that the GE in the area gravitates toward steep mountain slopes with rocky outcrops for nesting, the importance of topographic variables was initially apparent. Topographic indices also contributed up to 94.2% to the models of golden eagle distribution in the USA (made in MaxEnt), and cliffs and steep slopes were essential predictors in all regional models. Additional variables included land cover, climate indices, wind indices, orographic lift indices, and the density of human settlement (Dunk *et al.*, 2019). Although the terrain parameters were not identical across regional models in the USA, the functional forms of the terrain parameters were generally quite similar in each region, with relative nest site density increasing with slope steepness; vegetation variables were included as essential variables in the models for foothills, forested mountains, intermontane basins, and valleys in several regions (Dunk *et al.*, 2019). In Canada, habitat selection by GEs was determined more by the ruggedness index and relative elevation than by land cover and vegetation (Maynard *et al.*,

переменными здесь были почвенно-растительный покров, климатические индексы, индексы ветра и орографического подъёма, а также степень освоенности районов человеком (Dunk *et al.*, 2019). Хотя параметры рельефа не были идентичны во всех региональных моделях в США, функциональные формы параметров рельефа в каждом регионе в целом были довольно схожи – относительная плотность мест гнездования увеличивалась с увеличением крутизны склонов; переменные растительности в качестве важных были включены в модели для предгорий, лесистых гор, межгорных бассейнов и долин ряда регионов (Dunk *et al.*, 2019). В Канаде выбор беркутами местообитаний определялся больше индексом пересеченности местности и относительной высоты, чем почвенным покровом и растительностью (Maynard *et al.*, 2024). В Румынии важными характеристиками среды обитания беркута по результатам моделирования в MaxEnt стали уклон, высота, экспозиция, сельское хозяйство и температура – вид предпочитает высокогорные районы с более крутыми склонами, особенно в Карпатах; пахотные земли и температуры июня–июля и декабря–января также играют важную роль в прогнозировании распространения беркута (Stefanescu, Balescu, 2019). То же самое можно отметить для других горных территорий, для которых моделировалось распространение беркута. В частности на Пиренейском полуострове лучшими предикторами пригодности среды для размножения беркута являются топографические переменные, указывающие на пересечённый рельеф (Tapia *et al.*, 2007), в Болгарии беркут также тяготеет к различным скалистым местообитаниям в непосредственной близости от открытых территорий (Djorgova *et al.*, 2021), в Греции беркуты показали выраженное предпочтение к областям, близким к хребтам, с более крутыми склонами ($>10^\circ$) и высотами 300–1000 м (Sidiropoulos *et al.*, 2024), в Шотландии наиболее важными переменными, определяющими гнездование беркутов, являются стандартное отклонение высоты, изменчивость уклона и максимальный уклон (Fielding, Haworth, 2014). Важность ряда топографических индексов, а также параметров ветра и орографического подъёма, как предикторов использования пространства беркутами в пределах местообитаний подтверждается многими исследованиями (Carrete *et al.*, 2000; McLeod *et al.*, 2002a; 2002b; López-López *et al.*, 2004; 2007; McIntyre

2024). In Romania, slope, elevation, aspect, agriculture, and temperature were identified as essential habitat characteristics by the GE in MaxEnt simulations, with the species preferring high mountain areas with steeper slopes, especially in the Carpathians; Arable land and June–July and December–January temperatures also play an important role in predicting the distribution of the GE (Stefanescu, Balescu, 2019). The same can be noted for other mountainous areas for which the distribution of the GE was modelled. In particular, on the Iberian Peninsula, the best predictors of habitat suitability for GE breeding are topographic variables indicating rugged terrain (Tapia *et al.*, 2007); in Bulgaria, GEs also gravitate towards various rocky habitats near open areas (Djorgova *et al.*, 2021), in Greece, GEs showed a strong preference for areas close to ridges, with steeper slopes ($>10^\circ$) and altitudes of 300–1000 m (Sidiropoulos *et al.*, 2024), in Scotland, the most important variables determining GE nesting are the standard deviation of elevation, slope variability and maximum slope (Fielding, Haworth, 2014). The importance of several topographic indices, as well as wind and orographic lift parameters, as predictors of GE space use within habitats, has been confirmed by many studies (Carrete *et al.*, 2000; McLeod *et al.*, 2002a; 2002b; López-López *et al.*, 2004; 2007; McIntyre *et*



Гнездо беркута с кладкой на скале. Чу-Илийские горы, 03.05.2023. Фото И. Карякина.

Golden Eagle nest with a clutch on a cliff. Chu-Ili Mountains, 03/05/2023. Photo by I. Karyakin.

et al., 2006; Sergio *et al.*, 2006; Katzner *et al.*, 2012b; Di Vittorio, López-López, 2014; Watson *et al.*, 2014; Crandall *et al.*, 2015; LeBeau *et al.*, 2015; Tack, Fedy, 2015; Tikkanen *et al.*, 2016; Wallace *et al.*, 2019; Fielding *et al.*, 2020; Di Vittorio *et al.*, 2020; Solanou *et al.*, 2022).

Показатели ветра, как производные климатических индексов и топографии, имеют важное влияние на моделирование распространения беркута, особенно в горных ландшафтах. Во-первых, этот орёл является видом ландшафтного уровня (Kochert *et al.*, 2002; Katzner *et al.*, 2012a; Stefanescu, Balescu, 2019), во-вторых, ветер является важнейшим фактором в его экологии (Katzner *et al.*, 2012a). Поскольку строение крыла беркута приспособлено к парению (Watson, 2011), ему могут быть предпочтительны особенности ландшафта, которые способствуют парящему или скользящему полёту в восходящих потоках любого происхождения для снижения энергетических затрат во время поиска пищи и патрулирования территории (Harmata, 1982; Collopy, Edwards, 1989; McGrady *et al.*, 2002; McLeod *et al.*, 2002a; Bohrer *et al.*, 2012; Katzner *et al.*, 2012a; Singh *et al.*, 2016; Duerr *et al.*, 2019; Fielding *et al.*, 2020). Отсюда и важность таких показателей в моделировании распространения беркута, как орографический подъём, скорость и плотность ветра, что показано как в нашем, так и в вышеперечисленных исследованиях.

Модели распространения беркута в США также включали переменные почвенного покрова, которые, как считается, в части естественной травянистой растительности и прибрежных местообитаний влияют положительно на доступность добычи, или наоборот, отрицательно, если это голые и пахотные земли (Marzluff *et al.*, 1997; Watson *et al.*, 2014; LeBeau *et al.*, 2015; Tack, Fedy, 2015; Dunk *et al.*, 2019). В нашем исследовании большая разница в EVI между соседними пикселями и высокие показатели NDVI за апрель определяли наличие богатой растительности по ущельям, массивы саксаульников или высокое качество травяного покрова на пастбищах, что также определяет доступность добычи (черепаха, заяц-толай, кеклик), особенно в условиях депрессии численности грызунов.

В различных исследованиях показано, что на беркута могут влиять климатические факторы (Beecham, Kochert, 1975; Watson *et al.*, 2003; López-López *et al.*, 2007; Moreno-Rueda *et al.*, 2009; McIntyre, Schmidt, 2012; Di Vittorio, López-López, 2014; Stefanescu,

et al., 2006; Sergio *et al.*, 2006; Katzner *et al.*, 2012b; Di Vittorio, López-López, 2014; Watson *et al.*, 2014; Crandall *et al.*, 2015; LeBeau *et al.*, 2015; Tack, Fedy, 2015; Tikkanen *et al.*, 2016; Wallace *et al.*, 2019; Fielding *et al.*, 2020; Di Vittorio *et al.*, 2020; Solanou *et al.*, 2022).

As derivatives of climate indices and topography, wind parameters have an essential impact on modelling the distribution of the GE, especially in mountainous landscapes. Firstly, this eagle is a landscape-level species (Kochert *et al.*, 2002; Katzner *et al.*, 2012a; Stefanescu, Balescu, 2019), and secondly, the wind is the most critical factor in its ecology (Katzner *et al.*, 2012a). Since the wing structure of the GE is adapted for soaring (Watson, 2011), it may prefer landscape features that promote soaring or gliding flight in updrafts of any origin to reduce energetic costs during foraging and territorial patrolling (Harmata, 1982; Collopy, Edwards, 1989; McGrady *et al.*, 2002; McLeod *et al.*, 2002a; Bohrer *et al.*, 2012; Katzner *et al.*, 2012a; Singh *et al.*, 2016; Duerr *et al.*, 2019; Fielding *et al.*, 2020). Hence, it is essential to use indicators such as orographic lift, wind speed, and density in modelling the GE's distribution, as shown in our studies and the ones mentioned above.

Models of GE distribution in the United States also included land cover variables, which are thought to positively influence prey availability in natural herbaceous vegetation and riparian habitats or negatively in bare and cropland habitats (Marzluff *et al.*, 1997; Watson *et al.*, 2014; LeBeau *et al.*, 2015; Tack, Fedy, 2015; Dunk *et al.*, 2019). In our study, significant differences in EVI between neighbouring pixels and high NDVI values in April determined the presence of rich vegetation in ravines, saxaul stands, or high-quality grass cover in pastures, which also determines prey availability (Tortoise, Tolai Hare, and Chukar), especially under conditions of rodent depression.

Various studies have shown that the GE can be influenced by climatic factors (Beecham, Kochert, 1975; Watson *et al.*, 2003; López-López *et al.*, 2007; Moreno-Rueda *et al.*, 2009; McIntyre, Schmidt, 2012; Di Vittorio, López-López, 2014; Stefanescu, Balescu, 2019) and it has been proven that the ecological characteristics of habitat selection in GEs vary across bioclimatic zones (Maynard *et al.*, 2024). However, the classification of breeding bird species of Ukraine by vulnerability to climate change based on data on ecological traits and life cycle characteristics showed a relatively high index of climate change re-

Balescu, 2019) и доказано, что экологические характеристики выбора местообитаний у беркута различаются по биоклиматическим зонам (Maynard *et al.*, 2024). Однако, классификация гнездящихся видов птиц Украины по уязвимости к климатическим изменениям на основе данных по экологическим признакам и характеристикам жизненных циклов показала довольно высокий для беркута индекс устойчивости к климатическим изменениям (0,45) среди других орлов (Баник, Атемасов, 2010), что определяется большой шириной климатической ниши этого вида. В нашем исследовании биоклиматические индексы (средняя температура самого влажного квартала, сезонность температуры, средняя температура самого засушливого квартала и годовой диапазон температуры), хоть и оказали важное влияние на модель, но не являлись предикторами, определяющими локальное распределение, по сути, определяя лишь границы климатической ниши вида, внутри которой распространение беркута определялось топографией. Это хорошо согласуется с работами по биоклиматическому моделированию распространения беркута в ряде других стран. Например, в Румынии, средняя температура за декабрь – январь и средняя температура за июнь – июль были важными переменными в моделировании в MaxEnt, но топография являлась определяющей (Stefanescu, Balescu, 2019). Также биоклиматическое моделирование показало два общих основных аспекта температуры (среднегодовая температура и средняя температура самого тёплого квартала), которые значительно повлияли на распределение беркута как в Швеции, так и в Норвегии (Tchamba, 2018), но во всех странах модели закрывали широкий диапазон территорий, климатически пригодных для беркута, но в которых он отсутствует (см., например Hjernquist, 2011), так как в моделировании не использовались топографические переменные. При этом анализ выбора местообитаний беркутами в Швеции наглядно показал, что орлы отдавали предпочтение окраинам открытых пространств и крутым склонам, в частности, обращённым на юг (Sandgren *et al.*, 2014).

Топографические, климатические и растительные переменные формируют сложную систему взаимного влияния друг на друга и на биологию вида, определяя границы распространения на глобальном и локальном уровнях, что показывают биоклимат и топография в нашем и других исследованиях.

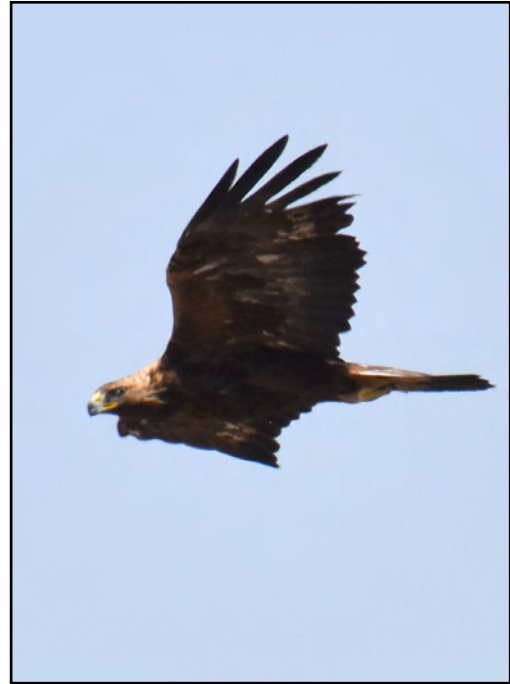
istance for the GE (0.45) among other eagle species (Banik, Atemasov, 2010), which is determined by the enormous breadth of the climatic niche of this species. In our study, bioclimatic indices (average temperature of the wettest quarter, temperature seasonality, average temperature of the driest quarter and annual temperature range), although they had an important impact on the model, were not predictors determining local distribution, essentially determining only the boundaries of the climatic niche of the species, within which the distribution of the GE was determined by topography. This is in good agreement with the work on bioclimatic modelling of the distribution of GE in several other countries. For example, in Romania, the mean December – January temperature and mean June – July temperature were important variables in the MaxEnt simulations, but topography was dominant (Stefanescu, Balescu, 2019). Also, bioclimatic modelling showed two common main temperature aspects (mean annual temperature and mean temperature of the warmest quarter) that significantly affected the distribution of GEs in both Sweden and Norway (Tchamba, 2018). Still, in all countries, the models covered a wide range of areas climatically suitable for GEs, but where they were absent (see, e.g., Hjernquist, 2011), since topographic variables were not used in the modelling. However, an analysis of the habitat choice of GEs in Sweden showed that eagles preferred the edges of open areas and steep slopes, particularly south-facing ones (Sandgren *et al.*, 2014).

Topographic, climatic and vegetation variables form a complex system of mutual influence on each other and the species' biology, determining the distribution boundaries at the global and local levels, as shown by the bioclimate and topography in our and other studies.

In most studies, researchers limited themselves to modelling the golden eagle distribution without estimating the species' abundance in the modelled habitats. An interesting study was done in the United States, in which the authors interpreted the results of the model based on the output of MaxEnt, transforming them into a biologically significant state variable – the relative density of eagle breeding territories, which has a clear biological interpretation (Dunk *et al.*, 2019). However, this is still far from determining the absolute abundance of the species in the modelled habitats. Taking the modelled distribution area of the GE as a basis, we calculated the number of nesting pairs for it using two methods based

В большинстве работ исследователи ограничивались моделированием распространения беркута, не оценивая численность вида в смоделированных местообитаниях. В США была сделана интересная работа, в которой авторы интерпретировали результаты модели на основе выходных данных MaxEnt, преобразовав их в биологически значимую переменную состояния – относительную плотность мест гнездования орлов, которая имеет чёткую биологическую интерпретацию (Dunk *et al.*, 2019). Однако, это всё равно далеко от определения реальной численности вида в смоделированных местообитаниях. Мы же пошли дальше, и, взяв за основу смоделированную область распространения беркута, рассчитали для неё численность гнездящихся пар двумя методами, основанными на площадочных учётах гнёзд беркута на исследуемой территории. Метод ГСЧ, использующий для валидации полигоны Тиссена, построенные вокруг гнёзд орлов, уже опробованный на нескольких видах с разными паттернами пространственного распределения (см. Карякин и др., 2022a; 2022 b; 2023; Karyakin *et al.*, 2023), традиционно дал лучшие результаты с меньшими достоверными интервалами.

Стоит отметить, что оценка границ области обитания беркута по полигонам Тиссена при наличии соседей и максимальному расстоянию, полученному из параметров, чувствительных к локальной плотности, реализована в модели распространения беркута в Шотландии (McGrady *et al.*, 2002; McLeod *et al.*, 2002a; 2002b) и получила дальнейшее развитие в моделях выбора местообитаний для Сицилии (Sergio *et al.*, 2006). Логистическая модель, основанная на диапазоне Тиссена, работала в сицилийском исследовании стабильно лучше, чем другие модели, предполагая: (1) что она могла выявить факторы окружающей среды, представляющие больший интерес для орлов, и (2) что диапазон Тиссена может быть более реалистичной оценкой фактического диапазона, чем простой круг фиксированного радиуса (Sergio *et al.*, 2006). Поэтому, при моделировании распространения, выбора местообитаний и численности, а также в любых анализах пространственного распределения гнездовых участков орлов, и других территориальных видов, мы рекомендуем использовать именно полигоны Тиссена, которые более реально отражают пространственный паттерн биологических объектов в естественной среде.



Беркут. Фото И. Карякина.
Golden Eagle. Photo by I. Karyakin.

on site counts of GE nests in the study area. The RPG method using Thiessen polygons constructed around eagle nests for validation, which has already been tested on several species with different spatial distribution patterns (see Karyakin *et al.*, 2022a; 2022b; 2023rus; 2023en), has traditionally shown better results with smaller confidence intervals.

It is worth noting that estimating the range boundaries of the Golden Eagle using Thiessen polygons in the presence of neighbours and the maximum distance derived from local density-sensitive parameters has been implemented in a model of the GE distribution in Scotland (McGrady *et al.*, 2002; McLeod *et al.*, 2002a; 2002b) and has been further developed in habitat selection models for Sicily (Sergio *et al.*, 2006). The logistic model based on Thiessen polygons performed consistently better than the other models in the Sicilian study, suggesting (1) that it could identify environmental factors of greater interest to the eagles and (2) that Thiessen polygons may be a more realistic estimate of the actual range than a simple circle of fixed radius (Sergio *et al.*, 2006). Therefore, when modelling the distribution, choice of habitats and numbers, as well as in any analysis of the spatial distribution of nesting areas of eagles and other territorial species, we recommend using Thies-

Проведённые нами наблюдения за полётным поведением орлов в разных ландшафтах в пределах гнездовых участков и миграционных коридоров, лишние раз подтвердили многие закономерности, доказанные различными исследователями, в обширном ареале беркута. Но в ряде случаев мы получили иные показатели, уникальные для Каратау.

GPS-трекинг беркутов в Финляндии показал очень короткое время полётов в день – 1,7–2,8 часа в день за год (в среднем 2,2 ч), причём самцы были более активны (2,4 часа в день), чем самки (1,7 часа в день) и около 30% этого времени орлы летали на высотах риска столкновения в ветрогенераторами (50–200 м) (Tikkanen *et al.*, 2016). Однако столь короткое время в полёте соответствовало результатам более раннего исследования бюджета времени гнездящихся беркутов в США (штат Айдахо). Американские орнитологи обнаружили, что самцы беркутов в период размножения тратили на полет 22%, а самки 15% светового дня, что означает, что самцы летали около 3, а самки около 2 часов в день, а вне сезона размножения, по-видимому, менее 1 часа в день (Collopy, Edwards Jr., 1989). В нашем исследовании орлы летали в среднем 3,5 часа в день (27,88% светлого времени) и находились в ЗДР (19–121 м над землёй) от 57,95% (транзитные особи) до 68,46%–69,47% (местные молодые и взрослые птицы) времени в полёте. Возможно, более высокая лётная активность орлов в нашем исследовании связана с низкой численностью кормов, для добычи которых взрослым птицам приходилось затрачивать больше усилий. По причине недостатка кормов слётки также проявляли интенсивную лётную активность, постоянно гоняясь с криками за взрослыми птицами, когда те присутствовали на гнездовом участке. Но может быть большая лётная активность характерна для казахстанских горно-степных популяций беркутов, что может быть установлено дальнейшим телеметрическими исследованиями. Она может определяться как лётными условиями (топография, ветровые характеристики), так и параметрами добычи и связанной с ними интенсивностью кормодобычи и кормления молодых.

В Швеции средняя высота полёта беркутов составляла 170 м (Hedfors, 2015), в Финляндии – 197 м (Tikkanen *et al.*, 2016), что, в целом, сравнимо с показателями высоты полёта орлов (171 м) в нашем исследовании на наблюдательных пунктах



Беркут. Фото И. Карякина.
Golden Eagle. Photo by I. Karyakin.

sen polygons, which more realistically reflect the spatial pattern of biological objects in the natural environment.

Our observations of the flight behaviour of eagles in different landscapes within nesting areas and migration corridors once again confirmed many patterns proven by various researchers in the vast range of the GE. However, in several cases, we received other indicators unique to Karatau.

GPS tracking of GEs in Finland showed very short daily flight times of 1.7–2.8 h per day per year (average 2.2 h), with males being more active (2.4 h per day) than females (1.7 h per day) and about 30% of this time spent at wind turbine collision altitudes (50–200 m) (Tikkanen *et al.*, 2016). However, such short flight times were consistent with an earlier study of the time budget of breeding GEs in the United States (Idaho). American ornithologists have found that male GEs spent 22% of daylight hours flying during the breeding season, and females 15% of daylight hours, which means that males flew about 3 hours a day and females about 2 hours a day, and outside the breeding season, apparently less than 1 hour a day (Collopy, Edwards Jr., 1989). In our study, eagles flew an average of 3.5 hours a day (27.88% of daylight hours) and were in the RSZ (19–121 m above the ground) from 57.95% (transients) to 68.46%–69.47% (resi-

в горах в местах потенциального строительства ВЭС, но несколько выше таковой на гнездовых участках (в среднем 144 м), которые располагались в узких ущельях передовых складок хребтов. Здесь птицы перемещались преимущественно на орографических потоках, поэтому летали ниже, что хорошо согласуется с наблюдениями в США (Katzner *et al.*, 2012a).

Разница в высоте полёта над разными субстратами и на разных высотах местности показана в ряде исследований. Доказано, что топографические особенности являются основными драйверами восходящих потоков воздуха и высоты полёта беркутов (Duerr *et al.*, 2019). Скалы и крутые склоны способствуют созданию орографической подъёмной силы – низковысотного энергетического ресурса (Kerlinger, 1989). Поэтому орлы летают на более низких высотах над скальными обнажениями и крутосклонами, чем над любым другим типом рельефа (Katzner *et al.*, 2012a; Sur *et al.*, 2021). При этом высота зависит от статуса птиц, местные они или мигранты (Katzner *et al.*, 2012a) и, конечно же, от погоды (скорости ветра, влажности и температуры окружающей среды) (Linder *et al.*, 2022). Более плоские области не способны создавать орографическую подъёмную силу, но могут создавать термики, которые распространяются на большие высоты, часто более 1000 м, поэтому орлы часто летают на больших высотах над такой местностью, что соответствует использованию полёта, приводимого в движение конвективно нагретым воздухом (Katzner *et al.*, 2012a; Sur *et al.*, 2021). Разница в высоте полёта местных птиц и мигрантов, отмеченная в США (Katzner *et al.*, 2012a), подтверждена и в нашем исследовании. В американском исследовании в пределах каждого типа рельефа высота полёта мигрирующих орлов всегда была больше, чем у местных птиц; при локальных перемещениях средняя высота полёта беркутов составляла 63–83 м, в то время как мигранты летели на высоте 135–341 м; беркуты перемещались на низкой высоте над крутыми склонами и вершинами хребтов и на большой высоте над равнинами и холмами (хотя местные птицы на боковых склонах летели выше, чем ожидалось на основе модели) (Katzner *et al.*, 2012a).

Разница в высотах полёта орлов по сезонам в Каратау объясняется тем, что весной и осенью наблюдались в основном мигранты, транзитом летящие через горный барьер на пролётном пути, а летом встречи

resident juveniles and adults) of the time in flight. Perhaps the higher flight activity of the eagles in our study is due to the low abundance of food, which required more effort for adults to obtain. Due to the lack of food, fledglings also showed intense flight activity, constantly chasing adults with cries when they were present in the nesting area. However, it may be that high flight activity is characteristic of Kazakhstan's mountain-steppe populations of GE, which further telemetry studies can establish. It can be determined by flight conditions (topography, wind characteristics), prey parameters, and the intensity of adult hunting and feeding fledglings.

In Sweden, the average flight altitude of Golden Eagles was 170 m (Hedfors, 2015), and Finland – 197 m (Tikkanen *et al.*, 2016). There is generally comparable with the flight altitudes of eagles (171 m) in our study at vantage points in the mountains in the areas of potential wind farm construction, but slightly higher than those at breeding territories (on average 144 m), which were located in narrow gorges of the frontal folds of the ridges. Here, the birds moved mainly on orographic lifts. Therefore, they flew lower, which agrees with observations in the USA (Katzner *et al.*, 2012a).

Differences in flight altitudes over different substrates and at different terrain altitudes have been demonstrated in several studies. Topographic features are the main drivers of updrafts and flight altitudes in golden eagles (Duerr *et al.*, 2019). Rocks and steep slopes create orographic lift, a low-altitude energy resource (Kerlinger, 1989). Therefore, eagles fly at lower altitudes over rocky outcrops and steep slopes than over any other type of terrain (Katzner *et al.*, 2012a; Sur *et al.*, 2021). Moreover, the altitude depends on the status of the birds, whether they are local or migrants (Katzner *et al.*, 2012a) and, of course, on the weather (wind speed, humidity and ambient temperature) (Linder *et al.*, 2022). Flatter areas are unable to generate orographic lift. Still, they can create thermals that propagate to high altitudes, often over 1000 m, so eagles usually fly at high altitudes over such terrain, consistent with the use of convectively heated air-powered flight (Katzner *et al.*, 2012a; Sur *et al.*, 2021). The difference in flight altitudes between resident and migrant birds noted in the United States (Katzner *et al.*, 2012a) is confirmed in our study. In the American survey, migratory eagles always flew higher than local eagles within each landform; during local movements, GEs averaged 63–83 m flight altitude, while migrants flew at 135–341 m;

происходили с местными птицами, охотившимися недалеко от своих гнездовых участков. Если в первом случае птицы старались ловить благоприятные ветровые условия на больших высотах, то во втором высматривали добычу на земле. Разница между осенней и весенней миграцией определялась параметрами ветра в точках наблюдения. Если весной птицы старались перемещаться между термиками, формирующимися над хорошо прогретыми солнцем плоскими водоразделами, преимущественно при встречно-боковом и боковом приземном ветре, то осенью они заходили на точки наблюдения преимущественно при попутном или попутно-боковом ветре, скользя и набирая высоту в орографических подъёмах, в которых подъёмная сила существенно ограничена высотой, в отличие от термиков. Близкие результаты были получены в США. Высокоточный GPS-трекинг мигрирующих беркутов показал, что они провели 41,9% (18–56%) времени своей миграции на север, используя термическое парение, 45,2% (12–65%) времени, планируя между термическими потоками, и 12,9% (1–55%) времени, используя орографические восходящие потоки; орлы реагировали на быстро меняющиеся локальные метеорологические явления, с которыми они сталкивались, переключая поведение полёта, чтобы воспользоваться преимуществами нескольких режимов; орографическое парение чаще происходило утром и вечером, в начале сезона миграции и когда боковые и попутные ветры были самыми сильными (Katzner *et al.*, 2015). Интересно, что реакции на метеорологическую изменчивость были стереотипными у 10 беркутов, помеченных трекерами в США, орлы реагировали на увеличение скорости ветра, используя больше орографические подъёмы и меньше термики; по мере уменьшения использования термиков, также уменьшались колебания скорости и высоты полёта орлов (Lanzone *et al.*, 2012). В другом исследовании также показано, что хищные птицы летали на более низких высотах с увеличением скорости ветра; наблюдалась положительная корреляция между высотой полёта и облачностью и между высотой полёта и температурой, но она была слабее, чем со скоростью ветра (Linder *et al.*, 2022).

Опираясь на собственные исследования и вышеперечисленные, мы утверждаем, что зоны формирования орографических подъёмов, особенно в местах гнездования беркута, могут считаться зонами наибольшего риска при развитии ветроэнергетики и должны

Golden eagles moved at low altitude over steep slopes and ridge tops and at high altitude over plains and hills (although local eagles on side slopes flew higher than expected based on the model) (Katzner *et al.*, 2012a).

The difference in the altitudes of eagles' flights by season in Karatau is explained by the fact that in spring and autumn, mainly migrants were observed flying in transit through the mountain barrier on the flyway, and in summer, encounters occurred with local birds hunting near their breeding territories. If, in the first case, the birds tried to catch favourable wind conditions at high altitudes, then in the second case, they looked out for prey on the ground. The wind parameters at the vantage points determined the difference between autumn and spring migration. If in spring, the birds tried to move between thermals formed over flat watersheds well warmed by the sun, mainly with a head-side and side surface wind, then in autumn, they entered the observation points mostly with a tail or tail-side wind, gliding and gaining altitude in orographic lifts, in which the lifting force is significantly limited by altitude, unlike thermals. Similar results were obtained in the USA. High-precision GPS tracking of migrating golden eagles revealed that they spent 41.9% (18–56%) of their northward migration time using thermal soaring, 45.2% (12–65%) of the time gliding between thermals, and 12.9% (1–55%) of the time using orographic lift; eagles responded to the rapidly changing local meteorological phenomena they encountered by switching flight behaviour to take advantage of multiple modes; orographic soaring occurred more frequently in the morning and evening, early in the migration season, and when crosswinds and tailwinds were strongest (Katzner *et al.*, 2015). Interestingly, responses to meteorological variability were stereotypical among 10 GEs tagged in the United States, with eagles responding to increasing wind speeds by using more orographic lift and fewer thermals. As the use of thermals decreased, the oscillations in eagle flight speed and altitude also decreased (Lanzone *et al.*, 2012). Another study also showed that raptors flew at lower altitudes as wind speed increased; there was a positive correlation between flight altitude and cloud cover and between flight altitude and temperature, but it was weaker than wind speed (Linder *et al.*, 2022).

Based on our research and the above, we argue that areas where orographic rises form, especially in GE breeding territories, can be considered the highest risk areas for wind energy development and should be excluded from

исключаться из проектов освоения территорий, если близ них доказано гнездование или интенсивная миграция орлов.

Использование гнезда беркутами часто остаётся неизменным на протяжении десятилетий, даже тогда, когда пара расформируется в результате гибели одного из партнёров и после восстановления повторно использует одно и то же гнездо или гнёзда, расположенные в непосредственной близости друг от друга (McGahan, 1968; Kochert, Steenhof, 2012; Керданов, Николаев, 2019; наши данные). Например, история отдельных гнездовий в Тверской области насчитывает более века, в частности в сосновой гряде у р. Поникши в Жарковском Мхе (Жарковский район) и в Фировском районе (болото Заказник), гнёзда существуют с «довоенных» лет (Керданов 1990; Керданов, Николаев, 2019), гнездо на краю Оршинского Мха упоминается с 1940-х годов XX века (Керданов, Николаев, 2019). Орлы, гнездящиеся на скалах в каньоне р. Снейк в Айдахо (США), показали высокую верность гнезду в течение 45-летнего периода, где 88% гнёзд были заняты несколько лет, а 90% альтернативных гнёзд на гнездовой территории были построены на расстоянии менее 500 м от ранее занимавшихся гнездовых построек (Kochert, Steenhof, 2012). Таким образом, гнездовые постройки беркутов служат некими маркерами, притягивающими к себе свободных особей в популяции, а значит, могут служить маркерами при разработке природоохранных мероприятий для вида и составления планов освоения территорий с учётом необходимости сохранения беркутов.

Расстояние до гнезда является наиболее важным фактором, влияющим на распределение локаций беркутов в полёте (McGrady *et al.*, 2002; Haworth *et al.*, 2010; Watson *et al.*, 2014; LeBeau *et al.*, 2015; Tikkanen *et al.*, 2016). Это означает, что вероятность столкновения орлов уменьшается с увеличением расстояния от гнезда до ветрогенераторов. Остаётся вопрос: какого размера должно быть расстояние от гнезда беркута до края зоны, исключаемой из планов освоения, чтобы минимизировать вред орлам? В этом вопросе может помочь опять же исследование, сделанное в США (см. Watson *et al.*, 2014).

Высокая круглогодичная интенсивность полёта орлов и использования ими присад в пределах 50% контуров (в среднем 3,2 км от гнёзд) из-за центричности гнёзд может значительно увеличить вероятность конфликта орлов с ветряными турбинами, о



Многолетнее гнездо беркута на скале в Чу-Илийских горах. Фото И. Карякина.

A Golden Eagle nest on a cliff in the Chu-Ili Mountains was used for many years. Photo by I. Karyakin.

development projects if the nesting or intensive migration of eagles is proven near them.

The use of a nest by GE often remains unchanged for decades, even when a pair disbands as a result of the death of one of the partners and, after restoration, reuses the same nest or nests located near each other (McGahan, 1968; Kochert, Steenhof, 2012; Kerdanov, Nikolaev, 2019; our data). For example, the history of individual nesting sites in the Tver region goes back more than a century; in Zharkovsky and Firovsky Districts, nests have existed since the “pre-war” years (Kerdanov 1990; Kerdanov, Nikolaev, 2019), a nest on the edge of Orshinsky Moh has been mentioned since the 1940s (Kerdanov, Nikolaev, 2019). Eagles nesting on cliffs in the Snake River Canyon in Idaho (USA) showed high nest fidelity over a 45-year period, where 88% of nests were occupied for several years, and 90% of alternative nests in the nesting territory were built less than 500 m from previously occupied nest buildings (Kochert, Steenhof, 2012). Thus, nesting structures of GE serve as markers that attract free individuals in the population and, therefore, can serve as markers in the development of conservation measures for the species and the preparation of plans for the development of territories, taking into account the need to preserve Golden Eagles.

The distance to the nest is the most important factor influencing the distribution of GE locations in flight (McGrady *et al.*, 2002; Haworth *et al.*, 2010; Watson *et al.*, 2014; LeBeau *et al.*, 2015; Tikkanen *et al.*, 2016). This

чём свидетельствуют столкновения орлов с турбинами, которые были задокументированы исследованиями в США (Watson *et al.*, 2014). В результате этих исследований, для низкорасположенных горных и кустарниково-степных/пастбишных экосистем предложено, что стратегии управления ландшафтами для сохранения беркута должны использовать буферные зоны шириной 12,8 км вокруг гнёзд, а в буферных зонах шириной 9,6 км стратегии должны обязательно включать идентификацию и управление верхними частями склонов, вершинами хребтов и областями с разнообразным рельефом, определёнными с помощью прогностических моделей (Watson *et al.*, 2014). Эти параметры хорошо согласуются с полученными в Финляндии, где радиус домашних территорий беркутов составил в среднем 11,6 км (до 14 км) вокруг гнёзд, распределяясь неравномерно; в то время как средний радиус основной области обитания беркутов (50% MCP) был 3,7 км: около 80% лётных локаций были расположены на расстоянии более 2 км и 60% – на расстоянии более 4 км от гнезда, (Tikkanen *et al.*, 2016). Наши наблюдения показывают критическую важность зоны, радиусом 4–4,5 км от гнезда, в которой происходит основная масса перемещений беркутов на гнездовых участках, что хорошо согласуется с данными, полученными в США. Но так как мы не располагаем данными телеметрии орлов для рассматриваемой территории, то не можем определить границы гнездовых территорий, в рамках которых конфликт беркутов с ВЭС может быть достаточно высоким. Поэтому мы предлагаем землепользователям и проектировщикам, реализующим проекты в местах гнездования беркута ориентироваться на трёх-уровневые буферные зоны вокруг гнёзд орлов на рассматриваемой территории:

1-й уровень, в соответствии с нашими данными, – 4,5 км, в котором должна быть исключена любая деятельность, направленная на изменение местообитаний, включая установку ветротурбин даже оснащённых средствами защиты от столкновений;

2-й уровень, в соответствии с рекомендациями из США, – от 4,5 до 9,6 км, в котором должны быть чётко продуманы мероприятия по смягчению и исключена деятельность, которая может привести к гибели орлов; в частности, строительство турбин должно допускаться здесь в исключительных случаях за пределами орографических и термических подъёмов в уда-



Беркут, скользящий в орографическом подъёме.
Каратау. Фото И. Карякина.

*Golden Eagle gliding in orographic uplift.
Karatau. Photo by I. Karyakin.*

means the probability of eagle collision decreases with increasing distance from the nest to wind generators. The question remains: what should be the distance from the GE nest to the edge of the zone excluded from development plans to minimise harm to eagles? Again, a study conducted in the USA can help with this question (see Watson *et al.*, 2014).

High year-round eagles flight and perch use within 50% of contours (average 3.2 km from nests) due to nest centricity may significantly increase the likelihood of eagles conflict with wind turbines, as evidenced by eagle-turbine collisions documented in studies in the United States (Watson *et al.*, 2014). As a result of these studies, landscape management strategies for GE conservation for low-elevation montane and shrub-steppe/grassland ecosystems should use 12.8 km-wide buffer zones around nests. Within 9.6 km-wide buffer zones, strategies should include identifying and managing upper slopes, ridge tops, and areas of variable topography as identified by predictive models (Watson *et al.*, 2014). These parameters agree with those obtained in Finland, where the average radius of GE home ranges was 11.6 km (up to 14 km) around nests, unevenly distributed. In comparison, the average radius of the GE core area (50% MCP) was 3.7 km: about 80% of flight sites were located more than 2 km and 60% more than 4 km from the nest (Tikkanen *et al.*, 2016). Our observations show the critical importance of the zone with a radius of 4–4.5 km from the nest, where most GE movements occur on nesting sites, which agrees with the data obtained in the USA. However, since we do not have eagle telemetry data for the considered territory, we cannot determine the boundaries of the

лении на 2,5 км от передовых складок гор и бортов ушей, а также от осевых частей хребтов, только при наличии систем птицевезащиты, с доказанным положительным эффектом для беркутов;

3-й уровень, в соответствии с рекомендациями из США, – от 9,6 до 12,8 км, в котором должны быть чётко продуманы мероприятия по смягчению, компенсации, и ограничена, либо чётко регламентирована, деятельность, которая может привести к гибели орлов; в частности, строительство турбин допускается во всех типах ландшафта, но при наличии систем птицевезащиты, с доказанным положительным эффектом для беркутов.

Итогом нашей работы стала подготовка карты рисков столкновения беркутов с потенциальными ветрогенераторами на исследуемой территории. Мы рассчитали риски под параметры гипотетических ВЭС, стандартизовав их для всех ячеек 5×5 км регулярной сети, покрывающей территорию нашего исследования. За основу расчёта рисков взяты карта гнездопригодных биотопов, построенная в ходе моделирования распространения беркута, и сгенерированный для неё паттерн точек потенциальных гнездовых участков беркутов, а также карта миграции орлов, основанная на визуальных наблюдениях. Мы пока не располагаем данными GPS/GSM-прослеживания беркутов на рассматриваемой территории, поэтому не можем оценить параметры перемещения орлов за пределами наблюдательных пунктов, и не можем оценить индивидуальные территории птиц на кочёвках и зимовке. Но когда эти данные появятся, мы сможем легко скорректировать карты рисков, включив их в расчёт модели.

Конечно, остаётся много вопросов к уровню уклонения беркутов на рассматриваемой территории и избегания ВЭС. Большинство исследователей подтверждают, что хищные птицы способны обнаруживать присутствие ветряной турбины и стараются избегать её, независимо от типа или размера (Garvin *et al.*, 2011; Hull, Muir, 2013; Johnston *et al.*, 2014b; Villegas-Patracas *et al.*, 2014; Cabrera-Cruz, Villegas-Patracas, 2016; Linder *et al.*, 2022). Имеются сведения о том, что некоторые виды не избегают ВЭС и проявляют низкую активность в уклонении от столкновений (Bevanger *et al.*, 2010; Garvin *et al.*, 2011; Dahl *et al.*, 2013), но это не относится к беркутам. Определение реального уровня избегания без постоянного видеоконтроля за пролетающими мимо турбин птицами является доста-

breeding territories, within which the conflict of GEs with wind farms may be sufficiently high. Therefore, we propose that land users and designers implementing projects in GE nesting areas focus on three-level buffer zones around eagle nests in the area under consideration:

Level 1, according to our data, is 4.5 km, in which any activity aimed at changing habitats should be excluded, including the installation of wind turbines, even those equipped with collision protection;

Level 2, according to recommendations from the USA, is from 4.5 to 9.6 km, in which mitigation measures should be thought out, and activities that could lead to the death of eagles should be excluded; in particular, the construction of turbines should be allowed here in exceptional cases outside of orographic and thermal lifts at a distance of 2.5 km from the frontal folds of mountains and the sides of gorges, as well as from the axial parts of ridges, only in the presence of bird protection systems with a proven positive effect for GEs;

Level 3, by recommendations from the USA, is from 9.6 to 12.8 km, in which mitigation and compensation measures must be thought out, and activities that could lead to the death of eagles must be limited or strictly regulated; in particular, the construction of turbines is allowed in all types of landscapes, but with the presence of bird protection systems with a proven positive effect on GEs.

Our work resulted in preparing a risk map of Golden Eagle collisions with potential wind turbines in the study area. We calculated the risks for the parameters of hypothetical wind farms, standardising them for all 5×5 km cells of the regular grid covering the territory of our study. The risk calculation is based on a map of suitable breeding biotopes constructed during the GE distribution modelling, a pattern of potential GE breeding territories generated for it, and a migration map of eagles based on visual observations. We do not yet have GPS/GSM tracking data for Golden Eagles in the study area, so we cannot estimate the parameters of eagle movement outside observation points, and we cannot estimate the individual territories of birds during migration and wintering. However, when this data appears, we can easily adjust the risk maps by including them in the model calculation.

Of course, many questions remain about the level of GE evasion in the study area and avoidance of wind farms. Most studies confirm that birds of prey can detect the presence of a wind turbine and try to avoid it, regard-

точно сложным процессом. Поэтому оценки риска столкновений, учитывающие уровень уклонения птиц, до сих пор страдают неточностью из-за отсутствия корректно измеренных показателей. Внедрение систем видеомониторинга на ВЭС должно способствовать решению этой проблемы. Нами взяты довольно широкие пределы от 90 до 99%, но реальный уровень уклонения необходимо определять в ходе детальных наблюдений на уже эксплуатирующихся и убивающих орлов Жанатасской ВЭС и ВЭС «Шокпар». Пока же, можно ориентироваться на показатели уклонения в диапазоне 96–98%, так как они соответствуют наблюдаемому исчезновению гнездовых участков беркута в зоне влияния ВЭС.

Бездумное размещение ветроэлектростанций, без оглядки на возможные угрозы биоразнообразию, которое сейчас происходит в Казахстане, может привести к негативным сценариям в популяциях орлов, не только в Каратау и Чу-Илиских горах, но и на других территориях. Исследованиями в США показано, что ветропарки, построенные на миграционных маршрутах орлов, могут привести к уничтожению птиц, гнездящихся на достаточно обширной территории (Katzner *et al.*, 2012a). Это угрожает существованию отдельных малых популяций, имеющих отрицательные демографические показатели из-за увеличения избыточной смертности (Ledec *et al.*, 2011; Dahl *et al.*, 2012; Katzner *et al.*, 2012a; Bellebaum *et al.*, 2013). До сих пор не существует консенсуса на тему того, какие популяции страдают больше всего в зоне развития ветроэнергетических проектов, местные или мигрирующие (Schuster *et al.*, 2015; Estellés-Domingo, López-López, 2024). Весьма вероятно, что ущерб местным популяциям может быть более существенным, так как птицы из них большее время проводят в зоне влияния ветрогенераторов и имеют большие вероятности столкновений, что показано нашим моделированием рисков столкновений. Участки, освобожденные от орлов, убившихся на ВЭС, но расположенные в гнездопригодных биотопах высокого качества, могут стать экологическими ловушками, аккумулируя смертность неполовозрелых птиц, которые будут притягиваться к этим территориям и пытаться на них формировать пары. Тем не менее, многие исследования разных видов пернатых хищников указывают на значительный риск ВЭС именно для мигрантов, или же для местных птиц в период миграционной активности (например, Barrios, Rodriguez, 2004; Smallwood *et al.*, 2007; Kikuchi, 2008).

less of type or size (Garvin *et al.*, 2011; Hull, Muir, 2013; Johnston *et al.*, 2014b; Villegas-Patraca *et al.*, 2014; Cabrera-Cruz, Villegas-Patraca, 2016; Linder *et al.*, 2022). Evidence shows that some species do not avoid wind farms and show low avoidance activity (Bevanger *et al.*, 2010; Garvin *et al.*, 2011; Dahl *et al.*, 2013), but this does not apply to GEs. Determining the actual level of avoidance without constant video monitoring of birds flying past turbines is a rather tricky process. Therefore, collision risk assessments that consider the level of bird avoidance still suffer from inaccuracy due to the lack of correctly measured indicators. Introducing video monitoring systems at wind farms should help solve this problem. We have taken broad avoidance limits from 90 to 99%. Still, the actual level of avoidance should be determined during detailed observations at the already operating and killing eagles Zhanatas and Shokpar wind farms. We can focus on avoidance indicators in the 96–98% range since they correspond to the observed disappearance of GE breeding territories in the wind farm's influence zone.

Thoughtless placement of wind farms, without regard for possible threats to biodiversity, which is currently happening in Kazakhstan, can lead to unfavourable scenarios in eagle populations, not only in the Karatau and Chulii Mountains but also in other areas. Research in the USA has shown that wind farms built on eagle migration routes can lead to the removal of birds nesting in a reasonably large area (Katzner *et al.*, 2012a). This poses risks to individual small populations with negative demographic indicators due to increased excess mortality (Ledec *et al.*, 2011; Dahl *et al.*, 2012; Katzner *et al.*, 2012a; Bellebaum *et al.*, 2013). There is still no consensus on which populations suffer the most in the wind energy development area, local or migratory (Schuster *et al.*, 2015; Estellés-Domingo, López-López, 2024). Damage to local populations may likely be more significant since birds from them spend more time in the wind turbine impact zone and have higher collision probabilities, as shown by our collision risk modelling. Sites vacated by eagles killed at wind farms but located in high-quality nesting biotopes may become ecological traps, accumulating mortality of immature birds that will be attracted to these areas and try to form pairs there. However, many studies of species of raptors indicate a significant risk of wind farms for migrants or local birds during migration activity (e.g. Barrios, Rodriguez, 2004; Smallwood *et al.*, 2007; Kikuchi, 2008). This is especially true if these wind farms are built on

Особенно если эти ВЭС строятся на горных хребтах, вдоль которых идёт миграция хищных птиц и формируются мощные орографические подъёмы (такие ВЭС считаются наиболее опасными для птиц, см., например Barrios, Rodriguez, 2004; Katzner *et al.*, 2012a; Miller *et al.*, 2014; Schuster *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2016; Peron *et al.*, 2017; Poessel *et al.*, 2018). Всё это ещё усугубляется и плохой погодой (сильный ветер и плохая видимость) (Johnston *et al.*, 2014). Опираясь на эти сведения можно предположить, что для мигрантов, пересекающих Чу-Илийские горы, ВЭС, построенная в их осевой части, может быть даже опаснее, чем аналогичная в Каратау. Но пока нам не хватает объективных данных, чтобы сравнивать уровень рисков для мигрирующих орлов в этих горных районах по причине отсутствия высокоточных данных GPS-прослеживания.

Чтобы риски для беркута не возрастали с развитием ветроэнергетики, нужен тщательный подход к выбору мест расположения ветропарков, и в этом наша карта рисков может помочь. В целом, создание таких карт это хорошая практика (Bright *et al.*, 2008a; 2008b; 2009; Miller *et al.*, 2014; McGuinness *et al.*, 2015; Melcher *et al.*, 2017; Serratos, Allinson, 2022) и они активно используются менеджерами проектов и инвесторами для выбора территорий, на которых построенные ВЭС будут нести минимальные риски целевым видам.

В настоящее время более половины проектов ВЭС в Казахстане реализуются или планируются в пересечённом ландшафте горных районов Тянь-Шаня (включая Каратау и Чу-Илийские горы), Джунгарского Алатау, Казахстанского мелкосопочника и Кокчетавской возвышенности, в местах с высоким риском для популяций беркутов (ERM Japan Ltd., 2014 со ссылкой на Af-Mercados EMI, 2013; QazaqGreen, 2023; Juru, 2024; KEGOC, 2024). В то же время, мелкомасштабное освоение территорий, которое радикально не меняет среду обитания орлов и не устанавливает барьеры на восходящих потоках воздуха, особенно если оно осуществляется в более плоской, низковысотной местности, существенно не влияет на поведение передвижения орлов (Sur *et al.*, 2021). Поэтому реализация проектов возобновляемой энергии на тщательно выбранных площадках, особенно в плоских низковысотных участках (см., например Arnette, Zobel, 2011), потенциально совместима с существующими популяциями беркутов (Sur *et al.*, 2021). Можно существенно снизить риск негативного взаимодействия ветроэнергетики и дикой при-



Беркут, пролетающий мимо турбины Жанатасской ВЭС. Фото И. Карякина.

Golden Eagle flying past the turbine of the Zhanatas wind farm. Photo by I. Karyakin.

mountain ridges along which raptors migrate and powerful orographic uplifts are formed (such wind farms are considered the most dangerous for birds, see, e.g. Barrios, Rodriguez, 2004; Katzner *et al.*, 2012a; Miller *et al.*, 2014; Schuster *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2016; Peron *et al.*, 2017; Poessel *et al.*, 2018). All this is further aggravated by bad weather (strong winds and poor visibility) (Johnston *et al.*, 2014). Based on this information, it can be assumed that for migrants crossing the Chu-Ili Mountains, the wind farm built in their axial part may be even more dangerous than a similar one in Karatau. However, we still lack objective data to compare the risks for migrating eagles in these mountainous areas due to the lack of high-precision GPS tracking data.

To ensure that the risks to the Golden Eagle do not increase with wind energy development, a careful approach to selecting wind farm locations is needed, and our risk map can help with this. In general, creating such maps is good practice (Bright *et al.*, 2008a; 2008b; 2009; Miller *et al.*, 2014; McGuinness *et al.*, 2015; Melcher *et al.*, 2017; Serratos, Allinson, 2022) and project managers and investors actively use them to select areas where the built wind farms will pose minimal risks to target species. Currently, more than half of the wind farm projects in Kazakhstan are being implemented or planned in the mountainous landscapes of the Tien Shan (including the Karatau and Chu-Ili Mountains), Dzungarian Alatau, Kazakhstan Uplands and Kokchetav Upland, areas with high risk to GE

роды, избегая развития там, где среда обитания хорошего качества для орлов и хорошие ресурсы для ветровых турбин пересекаются (Miller *et al.*, 2014). Уже действуют многие десятки ВЭС, на которых реализованы мероприятия по защите птиц от столкновения, в виде доказавших свою эффективность методов остановки турбин при приближении птиц (Estellés-Domingo, López-López, 2024) на основе машинного зрения (Smallwood *et al.*, 2009; de Lucas *et al.*, 2012; Murai *et al.*, 2015; McClure *et al.*, 2018; 2021; Ferrer *et al.*, 2022; Linder *et al.*, 2022). Это позволяет снизить смертность среди наиболее уязвимых хищников при минимальном снижении производства энергии (снижение всего на 0,07%) (Estellés-Domingo, López-López, 2024). Это даёт надежду на то, что и в Казахстане рано или поздно развитие ветроэнергетики может пойти с минимальными рисками для популяции беркутов.

Выводы

1. Площадь гнездопригодных для беркута биотопов в Каратау и Чу-Илийских горах определена в 18209,9 км², площадь местообитаний – 67602,43 км².

2. Численность беркута на гнездовании на исследуемой территории по состоянию на 2024 г. оценена в 688 (597–937) гнездящихся пар, 248 (215–338) успешных пар или 1784 (1548–2430) особей с учётом потомства текущего года и нетерриториальных птиц, кочующих по территории в гнездовой период: в Каратау и на прилегающих территориях – 434–645, в среднем 466 гнездящихся пар (известно 80 гнездовых участков) и 1126–1674, в среднем 1209 особей с учётом счётов текущего года и неполовозрелых птиц, в Чу-Илийских горах – 163–292, в среднем 222 гнездящиеся пары (известно 40 гнездовых участков), и 422–757, в среднем 575 особей). В административных границах Казахстана численность беркута на гнездовании в соответствии с данной оценкой может быть 458–719, в среднем 574 пары. Численность мигрирующих через Каратау беркутов оценена в 7276–11423, в среднем 8386 особей, не менее 40% от этого числа птиц пролетает через Чу-Илийские горы.

3. На всём комплексе турбин Жанатаской ВЭС и ВЭС «Шокпар» в соответствии с моделированием в CRM «Vand» может гибнуть 17 орлов при уровне уклонения 96%, 9 – при уровне уклонения 98% и 4 – при уровне уклонения 99%. Учитывая то, что 3 гнездовых участка беркутов в радиусе 4,5 км от турбин ВЭС перестало существовать за 3 года эксплуатации ВЭС, наиболее близким

populations (ERM Japan Ltd., 2014 citing Af-Mercados EMI, 2013; QazaqGreen, 2023; Juru, 2024; KEGOC, 2024). At the same time, small-scale development that does not radically alter eagle habitat or establish barriers to updrafts, primarily if implemented in flatter, low-altitude terrain, does not significantly affect eagle movement behaviour (Sur *et al.*, 2021). Therefore, implementing renewable energy projects on carefully selected sites, especially in flat low-elevation areas (see, e.g. Arnette, Zobel, 2011), is potentially compatible with existing GE populations (Sur *et al.*, 2021). The risk of negative interactions between wind energy and wildlife can be significantly reduced by avoiding development where suitable habitats for eagles and good resources for wind turbines overlap (Miller *et al.*, 2014). There are already dozens of wind farms in operation that have implemented measures to protect birds from collisions in the form of proven methods of stopping turbines when birds approach (Estellés-Domingo, López-López, 2024) based on machine vision (Smallwood *et al.*, 2009; de Lucas *et al.*, 2012; Murai *et al.*, 2015; McClure *et al.*, 2018; 2021; Ferrer *et al.*, 2022; Linder *et al.*, 2022). This reduces mortality among the most vulnerable predators with minimal energy production (a reduction of only 0.07%) (Estellés-Domingo, López-López, 2024). This gives hope that, sooner or later, wind energy development in Kazakhstan can proceed with minimal risks to the GE population.

Summary results

1. The area of breeding biotopes for Golden Eagles in Karatau and the Chu-Ili Mountains is determined to be 18,209.9 km², and the area of habitats is 67,602.43 km².

2. The number of Golden Eagles nesting in the study area as of 2024 is estimated at 688 (597–937) breeding pairs (bp), 248 (215–338) successful bp, or 1784 (1548–2430) ind., taking into account the current year's offspring and non-territorial birds: in Karatau and adjacent territories – 434–645, on average 466 bp (80 breeding territories, are known) and 1126–1674, on average 1209 ind., taking into account the current year's fledglings and immature birds, in the Chu-Ili Mountains – 163–292, on average 222 bp (40 breeding territories are known), and 422–757, on average 575 ind.). Within the administrative borders of Kazakhstan, the number of GEs breeding according to this estimate maybe 458–719, an average of 574 bp. The number of GEs migrating through Karatau is estimated at 7276–11423, an average of 8386 ind. at least 40%

к реальности является уровень гибели в 4–9 особей в год при соответствующем уровне уклонения от 96 до 98%.

4. В зоне повышенного риска столкновений орлов с турбинами ВЭС (более 0,5 особей в год на ячейку при уровне уклонения 99%) находится 25,87% площади территории, максимально интересной для развития ветроэнергетики (12621,5 км² с мощности ветровой энергии выше 500 Вт/м² и средней скоростью ветра выше 7 м/с). Причём территории, перспективные для выработки ветровой энергии, занимают 43,5% от общей площади зон повышенного риска столкновений орлов с турбинами ВЭС или 12019,6 км², а 56,5% зон повышенного риска столкновений орлов с турбинами ВЭС (15614,5 км²) лежит за пределами этих территорий.

5. Из перспективных для развития ветроэнергетики территорий, лежащих за пределами зоны повышенного риска (36172,4 км²), 28,59% (10340,8 км²) имеют умеренный риск столкновений беркутов с турбинами ВЭС (от 0,2 до 0,5 особей в год на ячейку при уровне уклонения 99%), 29,11% (10529,6 км²) – низкий риск (>0–0,2) и для 42,3% (15302,0 км²) – риск не установлен.

6. Для минимизации рисков столкновения орлов с турбинами ВЭС и сохранения гнездящейся популяции орлов, зона радиусом 4,5 км вокруг гнёзд беркута должна полностью исключать нахождение турбин ВЭС, а в зоне радиусом 12,8 км – должно быть предусмотрено управление размещением и эксплуатацией турбин ВЭС, исключающее вред беркутам.

Заключение

Для достижения глобальных целей по смягчению изменений климата крайне важно содействовать устойчивому развитию ветроэнергетики. Но важно признавать, что ветроэнергетика, как и любая отрасль энергетики, может затронуть редкие и охраняемые виды. Поэтому, чтобы не усиливать конфликт человека с окружающей средой, все возможные негативные последствия развития ветроэнергетики необходимо выявлять на раннем этапе, оценивать и эффективно предотвращать, или, как минимум, смягчать.

Беркут является флаговым видом Казахстана и входит в группу риска со стороны ветроэнергетики, поэтому при развитии сети ВЭС его охране должно уделяться особое внимание. Особенно в районах сосредоточения его крупных гнездовых группировок, как, например, в Каратау и Чу-Илийских горах.

Результаты данного исследования применимы для планирования мероприятий

of this number of birds fly through the Chu-Ili Mountains.

3. At the entire complex of turbines of the Zhanatas wind farm and the Shokpar wind farm, according to modelling in the CRM “Band”, 17 eagles per year may die with an avoidance level of 96%, nine eagles per year with an avoidance level of 98% and 4 eagles per year with an avoidance level of 99%. Considering that three breeding territories of GE within a radius of 4.5 km from the wind farm turbines ceased to exist in 3 years of wind farm operation, the closest to reality is the mortality rate of 4–9 ind. per year with a corresponding avoidance level of 96 to 98%.

4. In the zone of increased risk of eagle collisions with wind farm turbines (more than 0.5 ind. per year per cell with an avoidance level of 99%), there is 25.87% of the area of the territory of most significant interest for the development of wind energy (12621.5 km² with a wind power density above 500 W/m² and an average wind speed above 7 m/s). Moreover, territories with potential for wind energy generation occupy 43.5% of the total area of high-risk zones for eagle collisions with wind farm turbines, or 12,019.6 km², while 56.5% of high-risk zones for eagle collisions with wind farm turbines (15,614.5 km²) lie outside these territories.

5. Of the territories promising for wind energy development located outside the high-risk zone (36,172.4 km²), 28.59% (10,340.8 km²) have a moderate risk of GE collisions with wind power plant turbines (from 0.2 to 0.5 ind. per year per cell at an avoidance level of 99%), 29.11% (10,529.6 km²) have a low risk (>0–0.2), and for 42.3% (15,302.0 km²) the risk is not established.

6. To minimise the risk of eagle collisions with wind power plant turbines and preserve the GE breeding population, a zone with a radius of 4.5 km around GE nests should completely exclude the presence of wind power plant turbines, and in a zone with a radius of 12.8 km, management of the placement and operation of wind power plant turbines should be provided that excludes harm to Golden Eagles.

Conclusion

To achieve global climate change mitigation goals, it is essential to promote sustainable wind energy development. However, it is important to recognise that wind energy, like any energy sector, can affect rare and protected species. Therefore, to avoid increasing the conflict between humans and the environment, all possible negative consequences of wind energy development must be identi-

по сохранению беркута, анализа рисков развития не только ветроэнергетики, но и других видов землепользования, включая добычу полезных ископаемых и даже рекреацию, а также для реализации компенсационных мер после вмешательства человека в среду обитания беркута.

Мы предлагаем инвесторам и менеджерам при проектировании ВЭС в Каратау и Чу-Илийских горах сверяться с картой рисков столкновения беркутов с ветротурбинами и учитывать предлагаемые нами 3-х уровневые буферные зоны (4,5, 9,6 и 12,8 км) вокруг гнёзд орлов.

Благодарности

Полевые работы в 2022–2024 гг. выполнены при поддержке Фонда сохранения видов Тревожа Пойзера (Trevor Poyser Species Conservation Fund) через Орнитологическое общество Ближнего Востока (OSME)³⁴, Фонда ГГФ (Global Greengrants Fund)³⁵, Фонда сотрудничества для сохранения экосистем, находящихся в критическом состоянии / The Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF)³⁶, а также организации-партнёра «Дикая природа и народы Евразии»/ Eurasian Wildlife and Peoples (США)³⁷ в рамках проекта «Сохранение уязвимых видов пернатых хищников на Индо-Палеарктическом миграционном пути» (“Endangered Raptors Conservation on the Indo-Paleartic Migration Flyway”).

Авторы благодарят Тимофея Барабашина, Романа Лапшина, Анатолия Левина и Андрея Коваленко, участвовавших в полевых работах 2005–2010 гг., директора Общественного фонда «Центр изучения и сохранения биоразнообразия» (BRCC)³⁸ Нурлана Онгарбаева за организацию экспедиций в Казахстане и всестороннюю моральную поддержку, участников полевых работ 2022–2024 гг.: Нурума Сагалиева, Дау Лал Бохра, Кордиана Бартошука, Дмитрия Жукова, Юлию Колеватову, Александра Милежика, Александра Парфёнова, Олега Ширяева и Бауыржана Утебаева, а также студентов Карагандинского университета, проходивших стажировку на точках наблюдения птиц в горах Каратау в 2024 г.: Александра Алексеева, Юлию Куликову, Ангелину Турлыбекову и Викторию Химонен. Отдельная благодарность Дженнифер Кастнер за редакцию английского варианта статьи.

fied early, assessed and effectively prevented or mitigated.

The Golden Eagle is the flagship species of Kazakhstan and is at risk from wind energy; therefore, when developing the wind power plant network, special attention should be paid to its protection, especially in areas where its large breeding groups are concentrated, such as in Karatau and the Chu-Ili Mountains.

The results of this study are applicable for conservation planning efforts the Golden Eagle, analyzing the risks of developing not only wind energy, but also other land uses, including mining and even recreation, and implementing compensatory measures for human intervention in the GE's habitat.

We suggest that investors and managers when designing wind farms in Karatau and the Chu-Ili Mountains, check the map of risks of collisions between golden eagles and wind turbines and take into account the three-level buffer zones (4.5, 9.6 and 12.8 km) around eagle nests that we propose.

Acknowledgements

Field work in 2022–2024 was supported by the Trevor Poyser Species Conservation Fund through the Ornithological Society of the Near East (OSME)³⁴, the Global Greengrants Fund³⁵, The Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF)³⁶, as well as the partner organization Eurasian Wildlife and Peoples (USA)³⁷ as part of the “Endangered Raptors Conservation on the Indo-Paleartic Migration Flyway”.

The authors thank Timofey Barabashin, Roman Lapshin, Anatoly Levin and Andrey Kovalenko, who participated in the field work in 2005–2010, Nurlan Ongarbayev, Director of the Biodiversity Research and Conservation Center Community Trust (BRCC)³⁸, for organizing the expeditions in Kazakhstan and providing all-round moral support, participants in the field work 2022–2024: Nurum Sagaliyev, Dau Lal Bohra, Kordian Bartoszuk, Dmitry Zhukov, Yulia Kolevatova, Alexander Milezhik, Alexander Parfenov, Oleg Shiriaev, and Bauyrzhan Utebayev, as well as students of Karaganda University who completed an internship at bird observation points in the Karatau Mountains in 2024: Alexander Alexeyev, Yuliya Kulikova, Angelina Turlybekova, and Victoriya Khimonen. Special thanks to Jennifer Kastner for editing English.

³⁴ <http://osme.org>

³⁵ <http://www.greengrants.org>

³⁶ <http://www.cepf.net>

³⁷ <http://www.ewandp.org>

³⁸ <http://www.facebook.com/brcc.kz>

Литература / References

- Акимканова А., Амурекул К., Балыкин А., Баскакова С., Белоусов Е., Беляев А., Губин Б., Дякин Г., Звягинцева В., Исабеков А., Ишков Л., Кенжегулов К., Коваленко А., Кырыкбай Б., Ластухин А., Муравский В., Назарбек Г., Нукусбеков М., Салемгареев А., Сивоконь О., Федоренко В., Фокина А., Хайбулин Р., Шакула Ф., Шмыгалев С., Эрол И. Беркут *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758). [Akimkanova A., Amirekul K., Balykin A., Baskakova S., Belousov E., Belyaev A., Gubin B., Dyakin G., Zvyagintseva V., Isabekov A., Ishkov L., Kenzhegulov Q., Kovalenko A., Kyrykbay B., Lastukhin A., Muravsky V., Nazarbek G., Nukusbekov M., Salemgareev A., Sivokon O., Fedorenko V., Fokina A., Khaibulin R., Shakula F., Shmygalev S., Erolu E. Golden Eagle *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758).] – Kazakhstan birdwatching community. 2022.] URL: <https://kz.birding.day/v2taxon.php?s=108&l=ru> Дата обращения: 10.10.2024.
- Баник М.В., Атемасов А.А. Опыт оценки уязвимости гнездящихся видов птиц Украины к изменениям климата. – Бранта: Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. 2010. Вып. 13 (Птицы и климат). С. 9–20. [Banik M.V., Atemasov A.A. An attempt to assess the vulnerability of breeding birds of Ukraine to climate change. – Branta: Transactions of the Azov-Black Sea Ornithological Station. 2010. 13: 9–20. (in Russian).] URL: <https://branta.org.ua/branta-pdf/13/branta-13-02.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Белялов О.В., Карпов Ф.Ф. Обследование мест зимовки птиц в предгорной части поймы реки Чу. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2008. Алматы: «Tethys», 2009. С. 88–93. [Belyalov O.V., Karpov F.F. Survey of bird wintering sites in the foothill part of the Chu River floodplain. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2008. Almaty: “Tethys”, 2009: 88–93. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/7ece1.pdf#page=88> Дата обращения: 10.10.2024.
- Березовиков Н.Н. Беркут *Aquila chrysaetos* Linnaeus, 1758. – Красная книга Республики Казахстан. Изд. 4-е, переработанное и дополненное. Том I: Животные; Часть 1: Позвоночные / А.М. Мелдебеков, М.Х. Байжанов, А.Б. Бекенов, А.Ф. Ковшарь. Алматы: «DPS», 2010. С. 132–133. [Berezovikov N.N. Golden Eagle *Aquila chrysaetos* Linnaeus, 1758. The Red Data Book of the Republic of Kazakhstan. 4th edition, revised and updated. Volume I: Animals; Part 1: Vertebrates / A.M. Meldebekov, M.Kh. Baizhanov, A.B. Bekenov, A.F. Kovshar (Eds). Almaty: “DPS”, 2010: 132–133. (in Kazakh and Russian).] URL: https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/02/red-data-book-rk_v1_1_2010.pdf#page=134 Дата обращения: 10.10.2024.
- Березовиков Н.Н., Губин Б.М., Гуль И.Р., Ерохов С.Н., Карпов Ф.Ф., Коваленко А.В. Таукумы (юго-восточный Казахстан). Киев-Львов, 1999. 117 с. [Berezovikov N.N., Gubin B.M., Gul I.R., Erokhov S.N., Karpov F.F., Kovalenko A.V. Birds of the Taukum desert. Kiev, 1999: 1–117. (in Russian).] URL: [https://www.acbk.kz/elfinder/files/library/ornithology/Pticy%20pustiny%20Taukum%20\(yugo-vostochny%20Kazakhstan\).pdf](https://www.acbk.kz/elfinder/files/library/ornithology/Pticy%20pustiny%20Taukum%20(yugo-vostochny%20Kazakhstan).pdf) Дата обращения: 10.10.2024.
- 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: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorit-m-opredeleniya-raspolozheniya-i-razmerov-obektov-na-osnove-analiza-izobrazheniy-obektov> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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: DiCi-Con LLC. – Google Patents. 2014.] URL: <https://patents.google.com/patent/RU2602729C2/ru> Дата обращения: 10.10.2024.
- Губин Б.М. Материалы к фауне птиц Чу-Илийских гор. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2007. Алматы: «Tethys», 2008. С. 258–263. [Gubin B.M. Materials for the bird fauna of the Chu-Ili mountains. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2007. Almaty: “Tethys”, 2008: 258–263. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/608531.pdf#page=252> Дата обращения: 10.10.2024.
- Губин Б.М. Птицы пустынь Казахстана. Кн. 2. Алматы: ТОО «SprintR», 2018 а. 289 с. [Gubin B.M. Birds of the deserts of Kazakhstan. Vol. 2. Almaty, 2018 a: 1–289. (in Russian).] URL: https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/01/book-2_bg-1.pdf Дата обращения: 10.10.2024.
- Губин Б.М. Птицы Бельтау. – Русский орнитологический журнал. 2018 б. Т. 27, Экспресс-выпуск 1647: С. 3627–3651. [Gubin B.M. Birds of Beltau. – The Russian Journal of Ornithology. 2018 b. 27(1647): 3627–3651. (in Russian).] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ptitsy-beltau> Дата обращения: 10.10.2024.
- Губин Б.М., Белялов О.В. Гнездящиеся птицы Сырдарьинского Каратау. – Орнитологический вестник Казахстана и Средней Азии. Вып. 4. Алматы. 2017. С. 85–131. [Gubin B.M., Belyalov O.V. Nesting birds of Syrdarya Karatau. – Ornithological Bulletin of Kazakhstan and Central Asia. Almaty. 2017. 4: 85–131. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/ornit-vestn-kz-sa-4-2017.pdf#page=89> Дата обращения: 10.10.2024.
- Губин Б.М., Карпов Ф.Ф. Гнездящиеся птицы Малого Каратау (южный Казахстан). – Русский орнитологический журнал. 2000. Экспресс-выпуск 88. С. 3–14. [Gubin B.M., Karpov F.F. Breeding birds of Maliy Karatau (Southern Kazakhstan). – The Russian Journal of Ornithology. 2000. 88: 3–14. (in Russian).] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gnezdyaschiesya-ptitsy-malogo-karatau-yuzhnyy-kazakhstan> Дата обращения: 10.10.2024.
- Ивашенко А.А. Краткое сообщение о беркуте // Редкие животные Казахстана. Алма-Ата, 1986. С. 139. [Ivashchenko A.A. A brief message about the Golden Eagle // Rare species of animals of Kazakhstan. Alma-Ata, 1986: 139 (in Russian).] URL: https://zool.kz/wp-content/uploads/2023/11/redk_zhivotn_kz_1986_compressed.pdf#page=139 Дата обращения: 10.10.2024.
- Ивашенко А.А. Наблюдения за птицами в Западном Тянь-Шане весной 2008 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2008. Алматы: «Tethys», 2009. С. 145–146. [Ivashchenko A.A. Bird observations in the Western Tien Shan in spring 2008. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2008. Almaty: “Tethys”, 2009: 145–146. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/7ece1.pdf#page=145> Дата обращения: 10.10.2024.
- Исмаил уулу М. Встречи некоторых редких птиц в Каратауском заповеднике. – Selevinia. 2007. С. 218. [Ismail uulu M. Bird sightings of some rare species in the Karatau Reserve. – Selevinia. 2007: 218. (in Russian).] URL: https://backend.selevinia.kz/storage/archives_files/6ARfW42FzjfEAfkYeUdf1ReNkA2c7WBFfDhCK.pdf#page=220 Дата обращения: 10.10.2024.
- 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 “Povolzhie”, 2004: 1–351. (in Russian).] URL: <http://rrcn.ru/en/archives/11151> Дата обращения: 10.10.2024.
- Карякин И.В. Хищные птицы и ветроэнергетика в Казахстане: каковы перспективы для орлов? – Пернатые хищники и их охрана. 2023. Спецвып. 2. С. 428–433. [Karyakin I.V. Raptors and Wind Energy in Kazakhstan: What are the Prospects for Eagles? – Raptors Conservation. 2023. S2: 428–433.] DOI:

10.19074/1814-8654-2023-2-428-433 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/35191> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Барабашин Т.О. Результаты российской экспедиции в Казахстан в 2005 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2005. Алматы: «Tethys», 2006. С. 16–23. [Karyakin I.V., Barabashin T.O. Results of the Russian expedition to Kazakhstan in 2005. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2005. Almaty: “Tethys”, 2006: 16–23. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/4dd871.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Книжов К.И. Моделирование распространения, численности и выживаемости видов: новые возможности и методы. – Пернатые хищники и их охрана. 2023. Спецвып. 2. С. 347–357. [Karyakin I.V., Knizhov K.I. Species Distribution, Abundance, and Survival Modeling: New Opportunities and Methods. – Raptors Conservation. 2023. S2: 347–357.] DOI: 10.19074/1814-8654-2023-2-347-357 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/35134> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Книжов К.И., Николенко Э.Г., Ширяев О.В., Пуликова Г.И., Каптёнкина А.Г. Стервятник в горах Каратау и на прилегающих территориях, Казахстан. – Пернатые хищники и их охрана. 2022 а. № 44. С. 96–187. [Karyakin I.V., Knizhov K.I., Nikolenko E.G., Shiriaev O.V., Pulikova G.I., Kaptyonkina A.G. Egyptian Vulture in the Karatau Mountains and Adjacent Territories, Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2022 a. 44: 96–187.] DOI: 10.19074/1814-8654-2022-44-96-187 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/34648> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Книжов К.И., Николенко Э.Г., Ширяев О.В., Пуликова Г.И., Каптёнкина А.Г. Балобан в горах Каратау и на прилегающих территориях (Казахстан) – результаты исследований 2022 года. – Пернатые хищники и их охрана. 2022 б. № 45. С. 32–83. [Karyakin I.V., Knizhov K.I., Nikolenko E.G., Shiriaev O.V., Pulikova G.I., Kaptyonkina A.G. Saker Falcon in the Karatau Mountains and surrounding territories (Kazakhstan) – results of 2022 research. – Raptors Conservation. 2022 b. 45: 32–83.] DOI: 10.19074/1814-8654-2022-45-32-83 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/34729> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Книжов К.И., Николенко Э.Г., Ширяев О.В., Шнайдер Е.П., Пуликова Г.И., Сагалиев Н.А., Каптёнкина А.Г. Орёл-могильник в песках Мойынқум, Казахстан. – Пернатые хищники и их охрана. 2023. № 46. С. 46–107. [Karyakin I.V., Knizhov K.I., Nikolenko E.G., Shiriaev O.V., Shnyder E.P., Pulikova G.I., Sagaliyev N.A., Kaptyonkina A.G. Eastern Imperial Eagle in the Moyinqum Sands, Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2023. 46: 46–107.] DOI: 10.19074/1814-8654-2023-46-46-107 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/35631> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Коваленко А.В., Барабашин Т.О., Корепов М.В. Крупные хищные птицы бассейна Сарысу. – Пернатые хищники и их охрана. 2008. № 13. С. 48–87. [Karyakin I.V., Kovalenko A.V., Barabashin T.O., Korepov M.V. The Large Birds of Prey of the Sarysu River Basin. – Raptors Conservation. 2008. 13: 48–87.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/24919> Дата обращения: 10.10.2024.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Зиневич Л.С., Пуликова Г.И., Андреевкова Н.Г., Бартошук К., Хорват М., Юхаш Т., Проммер М. Развитие ветроэнергетики в Восточном Казахстане угрожает мигрирующим орлам. – Пернатые хищники и их охрана. 2021. № 43. С. 108–213. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnyder E.P., Zinevich L.S., Pulikova G.I., Andreyenkova N.G., Bartoszek K., Horváth M., Juhász T., Prommer M. Wind power development in Eastern Kazakhstan threatens migration of eagles. – Raptors Conservation. 2021. 43: 108–213.] DOI: 10.19074/1814-8654-2021-43-108-213 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/34356> Дата обращения: 10.10.2024.

Керданов Д.А. Антропогенное влияние на беркута и перспективы его сохранения в Калининской области. – Редкие

виды птиц Центра Нечерноземья. М., 1990. С. 118–120. [Kerdanov D.A. Anthropogenic influence on the Golden Eagle and prospects for its conservation in the Kalinin region. – Rare bird species of the Central part of Non-Black Soil Region. Moscow, 1990: 118–120. (in Russian).]

Керданов Д.А., Николаев В.И. Угрозы и пути сохранения угасающей популяции беркута (*Aquila chrysaetos* L.) в Тверской области. – Актуальные проблемы биологической и химической экологии: Сборник материалов 6-й Международной научно-практической конференции / Отв. редактор Д.Б. Петренко. Мытищи, 2019. С. 157–160. [Kerdanov D.A., Nikolaev V.I. Threats and ways to conservation the declining population of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos* L.) in the Tver region. – Actual problems of biological and chemical ecology: Proceedings of the 6th International scientific and practical conference / D.B. Petrenko (Ed.). Mytishchi, 2019: 157–160. (in Russian).] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugrozy-i-puti-sohraneniya-ugasayuschey-populyatsii-berkuta-aquila-chrysaetos-v-tverskoy-oblasti> Дата обращения: 10.10.2024.

Коваленко А.В. Орнитологические наблюдения в Таукумах и Бетпакале 2007 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2007. Алматы: «Tethys», 2008. С. 61. [Kovalenko A.V. Ornithological observations in Taukums and Betpakdala in 2007. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2007. Almaty: “Tethys”, 2008: 61. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/608531.pdf#page=61> Дата обращения: 10.10.2024.

Ковшарь А.Ф. Птицы Таласского Алатау. Алма-Ата: «Кайнар», 1966. 436 с. [Kovshar A.F. Birds of the Talas Alatau. Alma-Ata: “Kainar”, 1966: 1–436. (in Russian).] URL: https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/10/kovsharj_1966.pdf Дата обращения: 10.10.2024.

Ковшарь А.Ф. Птицы Тянь-Шаня (западной половины горной системы в пределах Казахстана, Кыргызстана, Узбекистана, Таджикистана). Том 1: Неворобьиные. Алматы, 2019. 560 с. [Kovshar A.F. Birds of Tien Shan (Middle Asian part of the mountain system in the limits of Kazakhstan, Kyrgyzstan, Uzbekistan, Tajikistan). Vol. 1: Non-passerines. Almaty, 2019: 1–560. (in Russian).]

Колбинцев В.Г. Современное состояние популяции редких гнездящихся видов сов и хищных птиц в Малом Каратау. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2003. Алматы: «Tethys», 2004. С. 214–219. [Kolbintsev V.G. The current state of the population of rare breeding species of owls and birds of prey in the Small Karatau. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2003. Almaty: “Tethys”, 2004: 214–219. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/2332f1.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Корелов М.Н. Отряд хищные птицы – Falconiformes. – Птицы Казахстана / Ред. В.Ф. Гаврин, И.А. Долгушин, М.Н. Корелов, М.А. Кузьмина. Т. 2. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1962. С. 488–707. [Korelov M.N. Birds of prey – Falconiformes. – Birds of Kazakhstan / V.F. Gavrin, I.A. Dolgushin, M.N. Korelov, M.A. Kuzmina (Eds.). Vol. 2. Alma-Ata: Publishing house of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1962: 488–707. (in Russian).] URL: http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/03/birds-of-kazakhstan_2_gavrin1962_ptitsy_kazakh_2.djvu Дата обращения: 10.10.2024.

Корелов М.Н. Орнитологические экспедиции в Каратау в 1958 и 1960 гг. – Орнитологический вестник Казахстана и Средней Азии / Ред. А.Ф. Ковшарь, Э.А. Рустамов, О.В. Митропольский, А.С. Левин, В.А. Ковшарь. Вып. 1. Алматы: МОО-СОПК-АСБК, 2012. С. 25–41. [Korelov M.N. Ornithological expeditions to Karatau in 1958 and 1960. – Ornithological News of Kazakhstan and Middle Asia / A.F. Kovshar, E.A. Rustamov, O.V. Mitropolsky, A.S. Levin, V.A. Kovshar (Eds.). Vol. 1. Almaty, 2012: 25–41. (in Russian).] URL: http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2014/12/sbornik_Korelov.pdf#page=17 Дата обращения: 10.10.2024.

Пфандер П.В. Краткое сообщение о беркуте. – Редкие животные Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1986. С. 139. [Pfander P.V. Short report about the Golden Eagle. – Rare animals of Kazakhstan. Alma-Ata: Nauka, 1986: 139. (in Russian).] URL: https://zool.kz/wp-content/uploads/2023/11/redk_zhivotn_kz_1986_compressed.pdf#page=139 Дата обращения: 10.10.2024.

Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. Москва, 1990. 33 с. [Ravkin E.S., Chelincev N.G. Manual on count of birds on transects. Moscow, 1990: 1–33. (in Russian).] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/9149> Дата обращения: 10.10.2024.

Самсонов Т.Е. Визуализация и анализ географических данных на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2021. [Samsonov T.E. Visualization and analysis of geographic data in the R language. Moscow: Faculty of Geography, Moscow State University, 2021.] DOI: 10.5281/zenodo.901911 URL: <https://tsamsonov.github.io/r-geo-course/spreg.html> Дата обращения: 10.10.2024.

Скляренко С.Л. Учёт джека в Жусандалинской заповедной зоне. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2004. Алматы: «Tethys», 2005. С. 56–58. [Sklyarenko S.L. Accounting for Chlamydotis in the Zhusandaly protected area. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2004. Almaty: “Tethys”, 2005: 56–58. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/388531.pdf#page=56> Дата обращения: 10.10.2024.

Скляренко С.Л. Учёт джека и других видов птиц в Жусандалинской заповедной зоне. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2005. Алматы: «Tethys», 2006. С. 76–78. [Sklyarenko S.L. Accounting for Chlamydotis and other bird species in the Zhusandaly protected area. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2005. Almaty: “Tethys”, 2006: 76–78. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/4dd871.pdf#page=78> Дата обращения: 10.10.2024.

Скляренко С.Л. Летний учёт джека и других редких видов птиц в Жусандалинской заповедной зоне и Андасайском заказнике в 2006 году. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2006. Алматы: «Tethys», 2007. С. 54–56. [Sklyarenko S.L. Summer registration of Chlamydotis and other rare bird species in the Zhusandaly Protected area and the Andasai Reserve in 2006. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2006. Almaty: “Tethys”, 2007: 124–127. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/523cb1.pdf#page=55> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Редкие и исчезающие виды птиц. – Мониторинг биологического разнообразия заповедника Аксу-Джабаглы / Ред. А.Ф. Ковшарь. Tethys Biodiversity Research. Том. 1. Алматы: «Tethys», 2002. С. 45–47. [Chalikova E.S. Rare and endangered bird species. – Monitoring of the biological diversity of the Aksu-Zhabagly State Nature Reserve / A.F. Kovshar (Ed.). Tethys Biodiversity Research. Vol. 1. Almaty: “Tethys”, 2002: 45–47. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/04/combinepdf-1.pdf#page=46> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Некоторые результаты экспедиции на Западный Тянь-Шань в 2003 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2003. – Алматы: «Tethys», 2004. С. 93–97. [Chalikova E.S. Some results of the expedition to the Western Tien Shan in 2003. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2003. Almaty: “Tethys”, 2004: 93–97. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/2332f1.pdf#page=94> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Орнитологические наблюдения в Таласском Алатау в 2005 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2005. Алматы: «Tethys», 2006. С. 70–73. [Chalikova E.S. Ornithological observations in Talas Alatau in 2005. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2005. Almaty: “Tethys”, 2006: 70–73. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/4dd871.pdf#page=72> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Орнитологические наблюдения в окрестностях и в заповеднике Аксу-Джабаглы в 2006 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2006. Алматы: «Tethys», 2007. С. 115–117. [Chalikova E.S. Ornithological observations in the vicinity and in the Aksu-Dzhabagly nature reserve in 2006. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2006. Almaty: “Tethys”, 2007: 115–117. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/523cb1.pdf#page=116> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Наблюдения за птицами Таласского Алатау в 2007 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2007. Алматы: «Tethys», 2008. С. 56–57. [Chalikova E.S. Bird observations of the Talas Alatau in 2007. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2007. Almaty: “Tethys”, 2008: 56–57. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/608531.pdf#page=56> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Взаимосвязь численности беркута и кеклика в заповеднике Аксу-Джабаглы. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2008. Алматы: «Tethys», 2009 а. С. 162. [Chalikova E.S. The relationship between the number of Golden Eagle and Chukar Partridge in the Aksu-Jabagly Nature Reserve. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2008. Almaty: “Tethys”, 2009 а: 162. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/7ecea1.pdf#page=163> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Орнитофауна Ирсу-Машатского участка Сайрам-Угамского национального парка. – Selevinia. 2009 b. С. 171–177. [Chalikova E.S. Avifauna of the Irsu-Mashat section of the Sairam-Ugam National Park. – Selevinia. 2009 b: 171–177. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2022/01/selevinia-2008-issn.pdf#page=172> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С. Экскурсия в Сайрам-Угамский национальный парк. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2008. Алматы: «Tethys», 2009 а. С. 78–82. [Chalikova E.S. Excursion to Sairam-Ugam National Park. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2008. Almaty: “Tethys”, 2009 а: 78–82. (in Russian).] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/7ecea1.pdf#page=78> Дата обращения: 10.10.2024.

Чаликова Е.С., Колбинцев В.Г. К орнитофауне Каратау и Боролдайтау. – Selevinia. 2006. С. 110–116. [Chalikova E.S., Kolbintsev V.G. To fauna of birds of Karatau and Borolday. – Selevinia. 2006: 110–116. (in Russian).] URL: https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/03/selevinia_2005.pdf#page=114 Дата обращения: 10.10.2024.

Amatulli G., McInerney D., Sethi T., Strobl P., Domisch S. Geomorpho90m, empirical evaluation and accuracy assessment of global high-resolution geomorphometric layers. – Scientific Data. 2020. 7: 162. DOI: 10.1038/s41597-020-0479-6 URL: <https://www.nature.com/articles/s41597-020-0479-6> Дата обращения: 10.10.2024.

Arnette A.N., Zobel C.W. Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian Mountains. – Renewable Energy. 2011. 36(11): 2785–2798. DOI: 10.1016/j.renene.2011.04.024 URL: <https://www.researchgate.net/publication/229399413> Дата обращения: 10.10.2024.

Auer T., Barker S., Barry J., Charnoky M., Curtis J., Davies I., Davis C., Downie I., Fink D., Fredericks T., Ganger J., Gerbracht J., Hanks C., Hochachka W., Iliff M., Imani J., Jordan A., Levatic T., Ligocki S., Long M.T., Morris W., Morrow S., Oldham L., Padilla Obregon F., Robinson O., Rodewald A., Ruiz-Gutierrez V., Schloss M., Smith A., Smith J., Stillman A., Strimas-Mackey M., Sullivan B., Weber D., Wolf H., Wood C. EOD – eBird Observation Dataset. Cornell Lab of Ornithology. Occurrence dataset. 2024. DOI: 10.15468/aomfmb URL: <https://doi.org/10.15468/aomfmb> Дата обращения: 10.10.2024.

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., Onninen M., van Loon A.P., Volker P. Global Wind Atlas version

- 3.0. 2021. URL: <https://gee-community-catalog.org/projects/gwa/#earth-engine-datasets> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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 Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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 Дата обращения: 10.10.2024.
- Barrios L., Rodriguez A. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. – Journal of Applied Ecology. 2004. 41(1): 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- Beecham J.J., Kochert M.N. Breeding biology of Golden Eagle in Southwestern Idaho. – Wilson Bull. 1975. 87(4): 506–513. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/wilson/v087n04/p0506-p0513.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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(6): 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- Bevanger K., Berntsen F., Clausen S., Dahl E.L., Flagstad O., Follstad A., Halley D., Hanssen F., Johnsen L., Kvaloy P., Lund-Hoel P., May R., Nygard T., Pedersen H.C., Reitan O., Roskaft E., Steinheim Y., Stokke B., Vang R. Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (BirdWind). Report on findings 2007–2010. – NINA Report 620. Trondheim: Norwegian Institute for Nature Research, 2010: 1–152. URL: <http://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/rapport/2010/620.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Bohrer G., Brandes D., Mandel J.T., Bildstein K.L., Miller T.A., Lanzone M., Katzner T., Maisonneuve C., Tremblay J.A. 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 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2011.01713.x> Дата обращения: 10.10.2024.
- Bright J.A., Langston R.H.W., Anthony S. Mapped and written guidance in relation to birds and onshore wind energy development in England. RSPB Research Report No 35. London, 2009: 1–167. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228503880> Дата обращения: 10.10.2024.
- Bright J., Langston R., Bullman R., Evans 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 a. 141(9): 2342–2356. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.06.029 URL: <https://www.researchgate.net/publication/222570151> Дата обращения: 10.10.2024.
- Bright J.A., Langston R.H.W., Pearce-Higgins J.W., Bullman R., Evans R., Gardner S. Spatial overlap of wind farms on peatland with sensitive areas for birds. – Mires and Peat. 2008 b. 4: Art. 7. URL: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map04/map0407.php> Дата обращения: 10.10.2024.
- Brotons L., Thuiller W., Araújo M.B., Hirzel A.H. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. – Ecography. 2004. 27(4): 437–448. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03764.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ddi.13491> Дата обращения: 10.10.2024.
- Brownlee J. Machine Learning Evaluation Metrics in R. R Machine Learning. 2016. URL: <https://machinelearningmastery.com/machine-learning-evaluation-metrics-in-r/> Дата обращения: 10.10.2024.
- Cabrera-Cruz S.A., Villegas-Patraca R. Response of migrating raptors to an increasing number of wind farms. – Journal of Applied Ecology. 2016. 53(6): 1667–1675. DOI: 10.1111/1365-2664.12673 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2664.12673> Дата обращения: 10.10.2024.
- Carrete M., Sánchez-Zapata J.A., Calvo J.F. Breeding densities and habitat attributes of Golden Eagles in south-eastern Spain. – Journal of Raptor Research. 2000. 34(1): 48–52. URL: <https://digitalcommons.usf.edu/jrr/vol34/iss1/9> Дата обращения: 10.10.2024.
- Collision Risk Modelling. – Natural Research Group. 2015. URL: <https://www.natural-research.org/ecological-consultancy-company/ornithology/collision-risk-modelling> Дата обращения: 10.10.2024.
- Collopy M.W., Edwards Jr. T.C. Territory Size, Activity Budget, and Role of Undulating Flight in Nesting Golden Eagles. – Journal of Field Ornithology. 1989. 60(1): 43–51. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jfo/v060n01/p0043-p0051.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Crandall R.H., Bedrosian B.E., Craighead D. Habitat selection and factors influencing nest survival of Golden Eagles in south-central Montana. – Journal of Raptor Research. 2015. 49(4): 413–429. DOI: 10.3356/rapt-49-04-413-428.1 URL: https://tetonraptorcenter.org/wp-content/uploads/2022/05/4_rapt-49-04-413-428_2E1.pdf Дата обращения: 10.10.2024.
- Crego R.D., Stabach J.A., Connette G. Implementation of species distribution models in Google Earth Engine. – Diversity and Distributions. 2022. 28(5): 904–916. DOI: 10.1111/ddi.13491 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ddi.13491> Дата обращения: 10.10.2024.
- Dahl E.L., May R., Hoel P.L., Bevanger K., Pedersen H.C., Roskaft 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://wildlife.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wsb.258> Дата обращения: 10.10.2024.
- Dahl E.L., Bevanger K., Nygard T., Roskaft E., Stokke B.G. Reduced breeding success in White-Tailed Eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. – Biological Conservation. 2012. 145(1): 79–85. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.10.012 URL: <https://www.researchgate.net/publication/251549000> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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. 7: e48092. DOI: 10.1371/journal.pone.0048092 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0048092> Дата обращения: 10.10.2024.
- Di Vittorio M., López-López P. Spatial distribution and breeding performance of Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in Sicily: implications for conservation. – Acta Ornithologica. 2014. 49(1): 33–45. DOI: 10.3161/000164514X682878 URL: <https://www.researchgate.net/publication/263806640> Дата обращения: 10.10.2024.
- Di Vittorio M., Medda M., Siriguc G., Luiselli L., Mancae G., Nissardif S., Zuccaf C., Ruiug D., Brauh A., Sanna M., Grussu M., Campus A., Spinaa F., Serra L., Raganella Pelliccionia E., Marcon A., Asuni V., Faddan A., Secci A., Corda M., Laiq A., López-

- López P. Ecological correlates of Golden Eagle *Aquila chrysaetos* breeding occurrence in Sardinia. – Bird Study. 2020. 67(4): 484–495. DOI: 10.1080/00063657.2021.1948966 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00063657.2021.1948966> Дата обращения: 10.10.2024.
- Didan K. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. DOI: 10.5067/MODIS/MOD13A1.061. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD13A1 Дата обращения: 10.10.2024.
- Djorgova N., Ragyov D., Biserkov V., Biserkov J., Nikolov B.P. Habitat preferences of diurnal raptors in relation to human access to their breeding territories in the Balkan Mountain Range, Bulgaria. – Avian Research. 2021. 12: 29. DOI: 10.1186/s40657-021-00265-6 URL: <https://avianres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40657-021-00265-6> Дата обращения: 10.10.2024.
- Dormann F., McPherson C.M., Araújo J.B., Bivand M., Boliger R., Carl J., Davies G.G., Hirzel R., Jetz A., Kissling W.D., Kühn W., Ohlemüller I., Peres-Neto R.R., Reineking P., Schröder B., Schurr F.M., Wilson R. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. – Ecography. 2007. 30(5): 609–628. DOI: 10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x> Дата обращения: 10.10.2024.
- Duerr A.E., Miller T.A., Dunn L., Bell D.A., Bloom P.H., Fisher R.N., Tracey J.A., Katzner T.E. Topographic drivers of flight altitude over large spatial and temporal scales. – The Auk. 2019. 136(2): ukz002 DOI: 10.1093/auk/ukz002 URL: <https://academic.oup.com/auk/article/136/2/ukz002/5430244> Дата обращения: 10.10.2024.
- Dunk J.R., Woodbridge B., Lickfett T.M., Bedrosian G., Noon B.R., LaPlante D.W., Brown J.L., Tack J.D. Modeling spatial variation in density of Golden Eagle nest sites in the western United States. – PLoS ONE. 2019. 14(9): e0223143. DOI: 10.1371/journal.pone.0223143 URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6768475> Дата обращения: 10.10.2024.
- ERM Japan Ltd. Renewable Project Environmental Review Report – Wind Yokohama, Japan, 2014: 1–104. URL: <https://www.ebrd.com/documents/climate-finance/get-kazres-tech-eng.pdf> [русская версия: <https://www.ebrd.com/documents/climate-finance/get-kazres-tech-rus.pdf>]. Дата обращения: 10.10.2024.
- Estellés-Domingo I., López-López P. Effects of wind farms on raptors: A systematic review of the current knowledge and the potential solutions to mitigate negative impacts. – Animal Conservation. 2024. DOI: 10.1111/acv.12988 URL: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/acv.12988> Дата обращения: 15.10.2024.
- Fawcett T. An introduction to ROC analysis. – Pattern Recognition Letters. 2006. 27(8): 861–874. DOI: 10.1016/j.patrec.2005.10.010 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016786550500303X?via%3Dihub> Дата обращения: 10.10.2024.
- Ferrer M., Alloing A., Baumbush R., Morandini V. Significant decline of Griffon Vulture collision mortality in wind farms during 13-year of a selective turbine stopping protocol. – Global Ecology and Conservation. 2022. 38: e02203. DOI: 10.1016/j.gecco.2022.e02203 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989422002050> Дата обращения: 10.10.2024.
- Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. – International Journal of Climatology. 2017. 37(12): 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086 URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.5086> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ibi.12996> Дата обращения: 10.10.2024.
- Fielding A.H., Bell J.F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. – Environmental Conservation. 1997. 24(1): 38–49. DOI: 10.1017/S0376892997000088 URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/review-of-methods-for-the-assessment-of-prediction-errors-in-conservation-presenceabsence-models/FFA0880CE3C3591A5906B83C04727F46> Дата обращения: 10.10.2024.
- Fielding A.H., Haworth P.F. Golden Eagles in the south of Scotland: an overview. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 626. 2014: 1–75. URL: <https://www.goldeneagles-southofscotland.co.uk/media/uploads/cat-10/need-and-demand-626-golden-eagles-south-of-scotland-haworth-and-fielding.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Fielding A.H., Haworth P.F., Anderson D., Benn S., Dennis R., Weston E., Whitfield D.P. A simple topographical model to predict Golden Eagle *Aquila chrysaetos* space use during dispersal. – Ibis. 2020. 162: 400–415. DOI: 10.1111/ibi.12718 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ibi.12718> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- GBIF.org. GBIF Occurrence Download. 2024. DOI: 10.15468/dl.m5psfp URL: <https://doi.org/10.15468/dl.m5psfp> Дата обращения: 03.12.2024.
- Goldwind GW 121/2500, 2017. URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1192-goldwind-gw-121-2500> Дата обращения: 10.10.2024.
- Griffith D.A., Peres-Neto P.R. Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigenfunction spatial analyses. – Ecology. 2006. 87(10): 2603–2613. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[2603:SMIET]2.0.CO;2 URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9658%282006%2987%5B2603%3ASMIETF%5D2.0.CO%3B2> Дата обращения: 10.10.2024.
- Harmata A. What is the function of undulating flight display in Golden Eagles? – Raptor Research. 1982. 16(4): 103–109. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jrr/v016n04/p00103-p00109.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Haworth P.F., McGrady M.J., Whitfield D.P., Fielding A.H., McLeod D.R.A. Ranging distance of resident Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in western Scotland according to season and breeding status: capsule home-range of resident pairs of Golden Eagle was usually smaller during a successful breeding season than during winter and during an unsuccessful breeding season. – Bird Study. 2010. 53(3): 265–273. DOI: 10.1080/00063650609461442 URL: <https://www.researchgate.net/publication/43075144> Дата обращения: 10.10.2024.
- Hedfors R. Movement ecology of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) and risks associated with wind farm development. Master degree thesis in Biology at the Department of Wildlife,

- Fish, and Environmental Studies. Umea, 2014: 1–37. URL: https://stud.epsilon.slu.se/7553/17/hedfors_r_150109.pdf Дата обращения: 10.10.2024.
- Hjernquist M. Åtgärdsprogram för kungsörn, 2011–2015 (*Aquila chrysaetos*). – Naturvårdsverket rapport. [Action program for Golden Eagles, 2011–2015 (*Aquila chrysaetos*). – Swedish Environmental Protection Agency report.] Vol. 6430. 2011: 1–103. URL: <https://kungsorn.se/resources/A%CC%8Atga%CC%88rdsprogram-fo%CC%88r-kungso%CC%88rn,-2011-2015---Rapport-978-91-620-6430-3.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- Hull C.L., Muir S.C. Behavior and turbine avoidance rates of eagles at two wind farms in Tasmania, Australia. – Wildlife Society Bulletin. 2013. 37(1): 49–58. DOI:10.1002/wsb.254 URL: <https://wildlife.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wsb.254> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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: e0172232. DOI: 10.1371/journal.pone.0172232 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0172232> Дата обращения: 10.10.2024.
- iNaturalist. iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset. 2024. DOI: 10.15468/ab3s5x URL: <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> Дата обращения: 10.10.2024.
- Jenness J. Nearest features (nearfeat.avx) extension for ArcView 3.x. – Jenness Enterprises. 2004. URL: http://www.jennessent.com/arcview/nearest_features.htm Дата обращения: 10.10.2024.
- 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 Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- Johnston N.N., Bradley J.E., Poteroy 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- Juru. Technical and E&S Advisory for the Jambyl 500MW Wind Power Project Development in Kazakhstan. – Juru. 2024. URL: <https://www.juru.org/projects/technical-and-es-advisory-for-the-jambyl-500mw-wind-power-project-development-in-kazakhstan> Дата обращения: 10.10.2024.
- Karyakin I., Kamenskiy D., Grachev E., Bekmansurov R., Vazhov S., Barashkova A., Shnayder E., Ebel A., Shzol D., Kovalenko A., Nikolenko E., Pchelintsev V., Fedorenko V., Shukov P. Raptors of the World. Version 1.11. Sibecocenter LLC. Occurrence dataset. 2020. DOI: 10.15468/fggsfn URL: <https://doi.org/10.15468/fggsfn> Дата обращения: 10.10.2024.
- Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Knizhov K.I., Pulikova G.I., Kaptyonkina A.G., Ongarbaev N.K. Egyptian Vulture in Kazakhstan. – Acta Zoologica Bulgarica. 2023. Suppl. 17: 19–50. URL: https://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/2023/Suppl_17_09.pdf Дата обращения: 10.10.2024.
- 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 a. 49(5): 1178–1186. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02185.x URL: <https://www.researchgate.net/publication/259800861> Дата обращения: 10.10.2024.
- Katzner T.E., Kochert M.N., Steenhof K., McIntyre C.L., Craig E.H., Miller T.A. Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*), version 2.0. – Birds of the World / P.G. Rodewald and B. K. Keeney (Eds). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. 2020. DOI: 10.2173/bow.goleag.02 URL: <https://birdsoftheworld.org/bow/species/goleag/cur/introduction> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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., Smith B.W., Miller T.A., Brandes D., Cooper J., Lanzone M., Brauning D., Farmer Ch., Harding S., Kramar D.E., Koppie C., Maisonneuve Ch., Martell M., Mojica E.K., Todd Ch., Tremblay J.A., Wheeler M., Brinker D.F., Chubbs T.E., Gubler R., O'Malley K., Mehus S., Porter B., Brooks R.P., Watts B.D., Bildstein K.L. Status, Biology, and Conservation Priorities for North America's Eastern Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) Population. – The Auk. 2012 b. 129(1): 168–176. DOI: 10.1525/auk.2011.11078 URL: <https://academic.oup.com/auk/article/129/1/168/5148647> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2015.0530> Дата обращения: 10.10.2024.
- KEGOC и MASDAR обсудили вопросы реализации проекта строительства ВЭС 1000 МВт в Жамбылской области. – Акционерное общество «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями». 2024. [KEGOC. KEGOC and MASDAR discussed the implementation of the 1000 MW wind farm construction project in the Zhambyl region. – Kazakhstan Electricity Grid Operating Company. 2024.] URL: <https://www.kegoc.kz/ru/press-center/press-releases/164411> Дата обращения: 10.10.2024.
- Kerlinger P. Flight Strategies of Migrating Hawks. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 1989: 1–375.
- Kikuchi R. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. – Journal for Nature Conservation. 2008. 16(1): 44–55. DOI: 10.1016/j.jnc.2007.11.001 URL: <https://www.researchgate.net/publication/222699991> Дата обращения: 10.10.2024.

- Khosravi M.R. Range Finder. – Code Project. 2009. URL: <https://www.codeproject.com/Articles/35029/Range-Finder> Дата обращения: 10.10.2024.
- Kochert M.N., Steenhof K. Golden Eagles in the U.S. and Canada: status, trends, and conservation challenges. – Journal of Raptor Research. 2002. 36 (1 Suppl.): 32–40. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jrr/v036n01s/p00032-p00040.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Kochert M.N., Steenhof K. Frequency of nest use by Golden Eagles in southwestern Idaho. – Journal of Raptor Research. 2012. 46(3): 239–247. DOI: 10.3356/JRR-12-00001.1 URL: <https://doi.org/10.3356/JRR-12-00001.1> Дата обращения: 10.10.2024.
- Lanzone M.J., Miller T.A., Turk P., Brandes D., Halverson C., Maisonneuve Ch., Tremblay J., Cooper J., O'Malley K., Brooks R.P., Katzner T. Flight responses by a migratory soaring raptor to changing meteorological conditions. – Biology Letters. 2012. 8: 710–713. DOI: 10.1098/rsbl.2012.0359 URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsbl.2012.0359> Дата обращения: 10.10.2024.
- LeBeau C.W., Nielson R.M., Hallingstad E.C., Young D.P. Daytime habitat selection by resident Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) in southern Idaho, USA. – Journal of Raptor Research. 2015. 49(1): 29–43. DOI: 10.3356/JRR-13-00052.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/272816230> Дата обращения: 10.10.2024.
- Ledec G., Rapp K.W., Aiello R. Greening the Wind: Environmental and social considerations for wind power development in Latin America and Beyond. Full report (English). Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) Washington, D.C.: World Bank Group, 2011: 1–148. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/698721468270653715/Full-report> Дата обращения: 10.10.2024.
- Linder A.C., Lyhne H., Laubek B., Bruhn D., Pertoldi C. Quantifying raptors' flight behavior to assess collision risk and avoidance behavior to wind turbines. – Symmetry. 2022. 14(11): 2245. DOI: 10.3390/sym14112245 URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/14/11/2245> Дата обращения: 10.10.2024.
- López-López P., García-Ripollés C., García-López F., Aguilar J.M., Verdejo J. Patrón de distribución del águila real *Aquila chrysaetos* y del águila-azor perdicera *Hieraaetus fasciatus* en la provincia de Castellón [Distribution pattern among Golden Eagle *Aquila chrysaetos* and Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* in the Castellon province]. – Ardeola. 2004. 51(2): 275–283. URL: <https://www.ardeola.org/uploads/articles/docs/1186.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- López-López P., García-Ripollés C., Soutullo A., Cadahía L., Urios V. Identifying potentially nesting habitat for Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) applied to Important Bird Areas design. – Animal Conservation. 2007. 10(2): 208–218. DOI: 10.1111/j.1469-1795.2006.00089.x URL: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-1795.2006.00089.x> Дата обращения: 10.10.2024.
- 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> Дата обращения: 10.10.2024.
- Marzluff J.M., Nick S.T., KeKasy M.S., Schueck L.S., Zarriello T.J. Spatial use and habitat selection of Golden Eagles in southwestern Idaho. – The Auk. 1997. 114(4): 673–687. DOI: 10.2307/4089287 URL: <https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=23105&context=auk> Дата обращения: 10.10.2024.
- May R., Nygard T., Dahl E.L., Reitan O., Bevanger K. Collision risk in White-Tailed Eagles. Modelling kernel-based collision risk using satellite telemetry data in Smola wind-power plant. – NINA Report 692. 2011: 1–22. URL: <https://www.researchgate.net/publication/255180387> Дата обращения: 10.10.2024.
- Maynard L.D., Lemaître J., Therrien J.F., Miller T.A., Katzner T., Somershoe S., Cooper J., Sargent R., Lecomte N. Key breeding habitats of threatened Golden Eagles across Eastern Canada identified using a multi-level, multi-scale habitat selection approach. – Landscape Ecology. 2024. 39: 91. DOI: 10.1007/s10980-024-01835-x URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-024-01835-x> Дата обращения: 10.10.2024.
- McGahan J. Ecology of the Golden Eagle. – The Auk. 1968. 85(1): 1–12. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/auk/v085n01/p0001-p0012.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- McGrady M.J., Grant J.R., Bainbridge I.P., McLeod D.R. A model of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) ranging behaviour. – Journal of Raptor Research. 2002. 36 (1 Suppl.): 62–69. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jrr/v036n01s/p00062-p00069.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- McGuinness S., Muldoon C., Tierney N., Cummins S., Murray A., Egan S., Crowe O. Bird Sensitivity Mapping for Wind Energy Developments and Associated Infrastructure in the Republic of Ireland. BirdWatch Ireland, Kilcoole, Wicklow, 2015: 1–120. URL: https://birdwatchireland.ie/app/uploads/2019/09/BWI-Bird-Wind-Energy-devt-Sensitivity-Mapping-Guidance_document.pdf Дата обращения: 10.10.2024.
- McIntyre C.L., Collopy M.W., Kidd J.G. Characteristics of the landscape surrounding Golden Eagle nest sites in Denali National Park and Preserve, Alaska. – Journal of Raptor Research. 2006. 40(1): 46–51. DOI: 10.3356/0892-1016(2006)40[46:CO TLSCJ]2.0.CO;2 URL: <https://www.researchgate.net/publication/232693037> Дата обращения: 10.10.2024.
- McIntyre C.L., Schmidt J.H. Ecological and environmental correlates of territory occupancy and breeding performance of migratory Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in interior Alaska. – Ibis. 2012. 154(1): 124–135. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2011.01181.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1474-919X.2011.01181.x> Дата обращения: 10.10.2024.
- McLeod D.R., Whitfield D.P., McGrady M.J. Improving prediction of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) ranging in Western Scotland using GIS and terrain modeling. – Journal of Raptor Research. 2002 a. 36 (1 Suppl.): 70–77. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jrr/v036n01s/p00070-p00077.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- McLeod D.R., Whitfield D.P., Fielding A.H., Haworth P.F., McGrady M.J. Predicting home range use by Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in western Scotland. – Avian Science. 2002 b. 2:183–198. URL: <https://www.researchgate.net/publication/270162207> Дата обращения: 10.10.2024.
- McClure C.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> Дата обращения: 10.10.2024.
- McClure C.J.W., Rolek B.W., Dunn L., McCabe J.D., Martinson L., Katzner T. Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. – Journal of Applied Ecology. 2021. (3)58: 446–452. DOI: 10.1111/1365-2664.13831 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13831> Дата обращения: 10.10.2024.
- Melcher C.P., Carr N.B., Sherrill K.R., Reese G. Golden Eagle. – Wyoming Basin Rapid Ecoregional Assessment: (ver. 1.1, April 2017) U.S. Geological Survey Open-File Report 2015–1155 / N.B. Carr, C.P. Melcher (Eds.). 2017: 664–690. DOI: 10.3133/ofr20151155 URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2015/1155/pdf/section4/chapter24.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.
- Miller T.A., Brooks R.P., Lanzone M., Brandes D., Cooper J., O'Malley K., Maisonneuve C., Tremblay J., Duerr A., Katzner T. Assessing risk to birds from industrial wind energy development via paired resource selection models. – Conservation Biology. 2014. 28(3): 745–755. DOI: 10.1111/cobi.12227 URL: <https://>

conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cobi.12227 Дата обращения: 10.10.2024.

Moreno-Rueda G., Pizarro M., Ontiveros D., Pleguezuelos J.M. The coexistence of the eagles *Aquila chrysaetos* and *Hieraetus fasciatus* increases with low human population density, intermediate temperature, and high prey diversity. – *Annales Zoologici Fennici*. 2009. 46(4): 283–290. DOI: 10.5735/086.046.0405 URL: <https://www.researchgate.net/publication/271305251> Дата обращения: 10.10.2024.

Murai Y., Takeda Y., Kumeno H., Okamoto Y. Optical bird detection and species identification for prevention of bird strikes in wind farms. – *Proceedings of the International Conference on Power Engineering-15 (ICOPE-15)* November 30 – December 4, 2015, Yokohama, Japan, 2015: 1013. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeicope/2015.12/0/2015.12_ICOPE-15-_7/_pdf Дата обращения: 10.10.2024.

NASA JPL. NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2020. DOI: 10.5067/MEaSUREs/NASADEM/NASADEM_HGT.001 URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_NASADEM_HGT_001 Дата обращения: 10.10.2024.

Naturgucker.de. Occurrence dataset. 2024. DOI: 10.15468/uc1apo URL: <https://doi.org/10.15468/uc1apo> Дата обращения: 10.10.2024.

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> Дата обращения: 10.10.2024.

Observation.org. Observation.org. Nature data from around the World. Occurrence dataset. 2024. DOI: 10.15468/5nlie URL: <https://doi.org/10.15468/5nlie> Дата обращения: 10.10.2024.

Pagel J.E., Kritz K.J., Millsap B.A., Murphy R.K., Kershner E.L., Covington S. Bald Eagle and Golden Eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. – *Journal of Raptor Research*. 2013. 47(3): 311–315. DOI: 10.3356/JRR-12-00019.1 URL: <https://www.researchgate.net/publication/271250740> Дата обращения: 10.10.2024.

Peron G., Fleming C.H., Duriez O., Fluhr J., Itty C., Lambertucci S., Safi K., Shepard E.L.C., Calabrese J.M. The energy landscape predicts flight height and wind turbine collision hazard in three species of large soaring raptor. – *Journal of Applied Ecology*. 2017. 54(6): 1895–1906. DOI: 10.1111/1365-2664.12909 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12909> Дата обращения: 10.10.2024.

Poessel S.A., Bragin E.A., Sharpe P.B., Garcelon D.K., Bartoszuk 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 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00063657.2018.1447907> Дата обращения: 10.10.2024.

QazaqGreen. TotalEren, Самрук-Казына, КазМунайГаз построят ветропарк в Жамбылской области. – QazaqGreen: Информационный портал по «зеленой» энергетике. 2023. [QazaqGreen. TotalEren, Samruk-Kazyna, KazMunaiGas to build wind farm in Zhambyl region. – QazaqGreen: Green Energy Information Portal. 2023.] URL: <https://qazaqgreen.com/news/kazakhstan/1220> Дата обращения: 10.10.2024.

QazaqGreen. Карта ВИЭ. – QazaqGreen: Информационный портал по «зеленой» энергетике. 2024. [RES map. – QazaqGreen: Green Energy Information Portal. 2024.] URL: <https://qazaqgreen.com/map> Дата обращения: 10.10.2024.

Ritchie H., Roser M., Rosado P. Renewable Energy. – *Our World in Data*. 2024. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/wind-generation?tab=chart&country=~KAZ> Дата обращения: 30.11.2024.

Roberts D.R., Bahn V., Ciuti S., Boyce M.S., Elith J., Guillella-Arroita G., Hauenstein S., Lahoz-Monford J.J., Schröder B., Thuiller W., Warton D.I., Wintle B.A., Hartig F., Dormann C.F.

Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. – *Ecography*. 2017. 40(8): 913–929. DOI: 10.1111/ecog.02881 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ecog.02881> Дата обращения: 10.10.2024.

Sandgren C., Hipkiss T., Dettki H., Ecke F., Hörnfeldt B. Habitat use and ranging behaviour of juvenile Golden Eagles *Aquila chrysaetos* within natal home ranges in boreal Sweden. – *Bird Study*. 2014. 61(1): 9–16. DOI: 10.1080/00063657.2013.857387 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00063657.2013.857387#d1e280> Дата обращения: 10.10.2024.

Schuster E., Bulling L., Koepfel J. Consolidating the state of knowledge: a Synoptical review of wind energy's wildlife effects. – *Environmental Management*. 2015. 56: 300–331. DOI: 10.1007/s00267-015-0501-5 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-015-0501-5> Дата обращения: 10.10.2024.

Scottish Natural Heritage. Guidance on Methods for Monitoring Bird Populations at Onshore Wind Farms. Ver. 2. SNH, Perth, 2017: 1–37. URL: <https://www.nature.scot/doc/recommended-bird-survey-methods-inform-impact-assessment-on-shore-windfarms> Дата обращения: 10.10.2024.

Sergio F., Pedrini P., Rizzoli F., Marchesi L. Adaptive range selection by Golden Eagles in a changing landscape: a multiple modelling approach. – *Biological Conservation*. 2006. 133(1): 32–41. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.05.015 URL: <https://www.researchgate.net/publication/229348741> Дата обращения: 10.10.2024.

Serratos J., Allinson T. AVISTEP: the Avian Sensitivity Tool for Energy Planning. Technical Manual. Cambridge, UK: Bird-Life International, 2022: 1–31. URL: <https://avistep.birdlife.org/AVISTEPTechnicalManual.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Sidiropoulos L., Whitfield D.P., Poirazidis K., Navarrete E., Vasilakis D.P., Bounas A., Kret E., Kati V. Dispersal Ecology of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) in Northern Greece: Onset, Ranging, Temporary and Territorial Settlement. – *Diversity*. 2024. 16(9): 580. DOI: 10.3390/d16090580 URL: <https://www.mdpi.com/1424-2818/16/9/580> Дата обращения: 10.10.2024.

Singh N.J., Moss E., Hipkiss T., Ecke F., Dettki H., Sandström P., Bloom P., Kidd J., Thomas S., Hörnfeldt B. Habitat selection by adult Golden Eagles *Aquila chrysaetos* during the breeding season and implications for wind farm establishment. – *Bird Study*. 2016. 63(2): 233–240. DOI: 10.1080/00063657.2016.1183110 URL: <https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/00063657.2016.1183110> Дата обращения: 10.10.2024.

Smallwood K.S., Thelander C. Bird Mortality at the Altamont Pass Wind Resource Area March 1998 – September 2001. Subcontract Report NREL/SR-500-36973. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 2005: 1–404. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36973.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Smallwood K.S., Thelander C. Bird mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. – *Journal of Wildlife Management*. 2008. 72(1): 215–223. DOI: 10.2193/2007-032 URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36973.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Smallwood K.S., Thelander C.G., Morrison M.L., Rugge, L.M. Burrowing owl mortality in the Altamont pass wind resource area. – *Journal of Wildlife Management*. 2007. 71(5): 1513–1524. DOI: 10.2193/2006-307 URL: <https://wildlife.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2193/2006-307> Дата обращения: 10.10.2024.

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 URL: <https://wildlife.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2193/2008-555> Дата обращения: 10.10.2024.

Snyder J.P., Voxland M.P. *Album of Map Projection*, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1453. Washington, DC:

United States Government Printing Office, 1989. DOI: 10.3133/pp1453 URL: <https://pubs.usgs.gov/pp/1453/report.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Solanou M., Trypidaki E., Georgopoulou E., Damianakis K., Kardamaki A., Xirouchakis S.M. Selection of Nesting Habitat and Insular Niche Separation of Two Sympatric *Aquila* Species. – Diversity. 2022. 14(12): 1136. DOI: 10.3390/d14121136 URL: <https://www.mdpi.com/1424-2818/14/12/1136> Дата обращения: 10.10.2024.

Stefanescu D.M., Balescu D.C. Predicting the distribution of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Romania using Maxent method. – North-Western Journal of Zoology. 2019. 15(1): 67–74 (e181601). URL: https://biozoojournals.ro/nwjz/content/v15n1/nwjz_e181601_Stefanescu.pdf Дата обращения: 10.10.2024.

Sur M., Woodbridge B., Esque T.C., Belthoff J.R., Bloom P.H., Fisher R.N., Longshore K., Nussear K.E., Tracey J.A., Braham M.A., Katzner T.E. Linking behavioral states to landscape features for improved conservation management. – Ecol Evol. 2021. 25, 11(12): 7905–7916. DOI: 10.1002/ece3.7621 URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8216984> Дата обращения: 10.10.2024.

Tack J.D., Fedy B.C. Landscapes for energy and wildlife: conservation prioritization for Golden Eagles across large spatial scales. – PLoS One. 2015. 10(8): e0134781. DOI: 10.1371/journal.pone.0134781 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0134781> Дата обращения: 10.10.2024.

Tapia L., Domínguez J., Rodríguez L. Modelling habitat use and distribution of Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in a low-density area of the Iberian Peninsula. – Biodiversity and Conservation. 2007. 16: 3559–3574. DOI: 10.1007/s10531-006-9093-y URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-006-9093-y> Дата обращения: 10.10.2024.

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> Дата обращения: 10.10.2024.

Tchamba J. Modelling the Potential Distribution of Golden Eagle Based on Maximum Entropy: The Experimental Cases of Sweden and Norway. Degree Project, Bachelor's Degree, Computer Science: IT System Development – Towards Geographic Information Systems. University of Gävle, 2018: 1–37. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1213336/FULLTEXT01.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Tikkanen H., Rytkönen S., Karlin O.-P., Ollila T., Pakanen V.-M., Tuohimaa H., Orell M. Modelling Golden Eagle habitat selection and flight activity in their home ranges for safer wind farm planning. – Environmental Impact Assessment Review. 2018. 71: 120–131. DOI: 10.1016/j.eiar.2018.04.006 URL: <https://sci-hub.ru/10.1016/j.eiar.2018.04.006> Дата обращения: 10.10.2024.

Tuanmu M.-N. Jetz W. A global, remote sensing-based characterization of terrestrial habitat heterogeneity for biodiversity and ecosystem modeling. – Global Ecology and Biogeography. 2015. 24(11): 1329–1339. DOI: 10.1111/geb.12365. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.12365> Дата обращения: 10.10.2024.

Ukolov I., Kalyakin M., Voltzit O. RU-BIRDS.RU, Birds observations database from Russia and neighboring regions. Zoological Museum of M.V. Lomonosov Moscow State University. Lomonosov Moscow State University. Occurrence dataset. 2024. DOI: 10.15468/5cjsx70 URL: <https://doi.org/10.15468/5cjsx70> Дата обращения: 10.10.2024.

Valavi R., Elith J., Lahoz-Monfort J.J., Guillera-Aroita G. blockCV: An R package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution

models. – Methods in Ecology and Evolution. 2019. 10(2): 225–232. DOI: 10.1111/2041-210X.13107 URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/2041-210X.13107> Дата обращения: 10.10.2024.

Villegas-Patraca R., Cabrera-Cruz S.A., Herrera-Alsina L. Soaring migratory birds avoid wind farm in the isthmus of Tehuantepec, Southern Mexico. – PLoS One. 2014. 9(3): e92462. DOI: 10.1371/journal.pone.0092462 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0092462> Дата обращения: 10.10.2024.

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> Дата обращения: 10.10.2024.

Wallace Z., Bedrosian G., Woodbridge B., Williams G., Bedrosian B.E., Dunk J. Wyoming and Uinta Basins Golden Eagle Conservation Strategy. Unpublished report prepared for the U.S. Fish and Wildlife Service Western Golden Eagle Team by the Wyoming Natural Diversity Database and Eagle Environmental, Inc. 2019: 1–165. URL: <https://tetonraptorcenter.org/wp-content/uploads/2023/03/WyomingAndUintaBasinsGoldenEagleConservationStrategy20190920.pdf> Дата обращения: 10.10.2024.

Watson J. The Golden Eagle. The Golden Eagle. Second Edition. Yale University Press, 2011: 1–400.

Watson J.W., Duff A.A., Davies R.W. Home range and resource selection by GPS-monitored adult Golden Eagles in the Columbia Plateau Ecoregion: implications for wind power development. – The Journal of Wildlife Management. 2014. 78(6): 1012–1021. DOI: 10.1002/jwmg.745 URL: <https://wildlife.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jwmg.745> Дата обращения: 10.10.2024.

Watson J., Fielding A.H., Whitfield D.P. Golden Eagle breeding performance in relation to climate in western Scotland during the period 1981–2000. – Birds of Prey in a Changing Environment / D.B.A. Thompson, S. Redpath, A.H. Fielding, M. Marquiss & C.A. Galbraith (Eds). The Stationery Office, Edinburgh, 2003: 149–161.

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> Дата обращения: 10.10.2024.

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> Дата обращения: 10.10.2024.

Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W., Souverijns N., Brockmann C., Quast R., Wevers J., Grosu A., Paccini A., Vergnaud S., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Georgieva I., Lesiv M., Carter S., Herold M., Li Linlin, Tsendbazar N.E., Ramoino F., Arino O. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. DOI:10.5281/zenodo.5571936 URL: <https://zenodo.org/record/5571936> Дата обращения: 10.10.2024.

Zhang C., Wang X., Chen S., Li H., Wu X., Zhang X. A Modified Random Forest Based on Kappa Measure and Binary Artificial Bee Colony Algorithm. IEEE Access. 2021. 9: 117679–117690. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3105796 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9516007> Дата обращения: 10.10.2024.

Zhang L., Huettmann F., Liu S., Sun P., Yu Z., Zhang X., Mi C. Classification and regression with random forests as a standard method for presence-only data SDMs: a future conservation example using China tree species. – Ecological Informatics. 2019. 52: 46–56. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2019.05.003 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574954119300147?via%3Dihub> Дата обращения: 10.10.2024.