

# Raptor Research

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕРНАТЫХ ХИЩНИКОВ

### *Saker Falcon in the Karatau Mountains and Surrounding Territories (Kazakhstan) – Results of 2022 Research*

### БАЛОБАН В ГОРАХ КАРАТАУ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ (КАЗАХСТАН) – РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 2022 ГОДА

*Karyakin I.V., Knizhov K.I., Nikolenko E.G., Shiryaev O.V. (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., Книжов К.И., Николенко Э.Г., Ширяев О.В. (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*

*Эльвира Николенко  
тел.: +7 923 150 12 79  
elvira\_nikolenko@mail.ru*

*Кирил Книжов  
тел.: +7 777 084 22 83  
kirillknizhov@gmail.com*

*Олег Ширяев  
тел.: +7 996 380 08 89  
glego2@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

Балобан (*Falco cherrug*) – один из наиболее угрожаемых видов соколов Северной Евразии, площадь ареала и численность которого в последние четыре десятилетия катастрофически сократились. Одна из крупных гнездовых группировок этого вида была сосредоточена в горах Каратау на юге Казахстана. По результатам исследований 2010 г. и 2022 г. мы смоделировали распространение балобана в Google Earth Engine, используя метод классификации изображений – Random Forest (вероятность + регрессия). Площадь гнездопригодных для балобана биотопов в Каратау и на прилегающих территориях определена в 4222,64 км<sup>2</sup>, площадь местообитаний – 9084,3 км<sup>2</sup>. Численность балобана в 2010 г. для рассматриваемой территории оценена в 128–281, в среднем 200 пар, в 2022 г. – 28–66, в среднем 46 пар, сокращение численности составило 77%. «Катализатором» краха популяции балобана в Каратау является затяжная депрессия численности грызунов. Сохранившиеся на гнездовании пары питаются практически исключительно птицами. Этот сохранившийся ресурс важен для восстановления популяции, и дальнейшая судьба вида будет зависеть как от восстановления численности грызунов, так и от пресса иных негативных факторов, таких как браконьерство и гибель на ЛЭП.

**Ключевые слова:** пернатые хищники, хищные птицы, балобан, *Falco cherrug*, моделирование распространения видов, Random Forest, Google Earth Engine, Каратау, Казахстан.

**Поступила в редакцию:** 10.12.2022 г. **Принята к публикации:** 25.12.2022 г.

#### Abstract

Saker Falcon (*Falco cherrug*) is one of the most threatened falcon species of Northern Eurasia, the range and the number of which has fallen catastrophically over the last four decades. One large breeding group was concentrated in the Karatau Mountains in southern Kazakhstan. Based on the results of studies in 2010 and 2022, we modeled Saker Falcon distribution in Google Earth Engine using the image classification method – Random Forest (probability + regression). The area of Saker Falcon breeding biotopes in Karatau and adjacent territories is calculated at 4,222.64 km<sup>2</sup>, area of habitats – 9,084.3 km<sup>2</sup>. Saker Falcon population in the study area for 2010 is estimated at 128–281 pairs, 200 pairs on average; in 2022 – 28–66, 46 pairs on average, with a decrease by 77%. The “catalyst” for the collapse of the Saker Falcon population in Karatau is a prolonged depression in the number of rodents. Pairs that survive while nesting almost exclusively feed on birds. The preserved resource is important for population recovery, and the further fate of the species will depend both on restoration of rodent populations and on the pressure of other negative factors, such as poaching and mortality on overhead power lines.

**Keywords:** raptors, birds of prey, Saker Falcon, *Falco cherrug*, species distribution models, SDM, Random Forest, Google Earth Engine, Karatau, Kazakhstan.

**Received:** 10/12/2022. **Accepted:** 25/12/2022.

**DOI:** 10.19074/1814-8654-2022-45-32-83

Алёна Каптёнкина  
Институт зоологии  
Министерства образова-  
ния 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

Elvira Nikolenko  
tel.: +7 923 150 12 79  
elvira\_nikolenko@mail.ru

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

Oleg Shiriaev  
tel.: +7 996 380 08 89  
glego2@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

## Введение

Балобан (*Falco cherrug*) – самый крупный из гнездящихся соколов Казахстана, который до начала 90-х гг. XX века был обычным видом, но в последние десятилетия стал крайне редким, а на некоторых территориях полностью исчез. Балобан внесён в Красный лист МСОП (IUCN) в категории «находящийся под угрозой исчезновения» (Endangered) (BirdLife International, 2021) и в Красную книгу Казахстана в категории I «исчезающий или возможно уже исчезнувший» (Левин, 2010). Численность балобана в Казахстане с 1990 по 2012 год снизилась на 73–79% и оценивалась в 2012 г. в 1000–1500 гнездящихся пар (Карякин и др., 2015).

Ранее балобан был очень широко распространён в горных системах Казахстана, преимущественно в низкогорьях: был нередок в Каратау и Казгурте, в небольшом количестве гнезился по отрогам Таласского Алатау, в 1958 г. найден гнездящимся в ущелье р. Кашкарата (Корелов, 1962; 2012).

В Таласском Алатау А.П. Коровин в июне 1926 г. в ущелье Аксу (на высоте 2000 м над уровнем моря) встретил выводок балобанов из двух взрослых и 4 молодых; Л.М. Шульпин 24 августа 1933 г. на лугах Кши-Чимбулака (2000 м) видел передачу добычи от взрослого балобана слётку (Ковшарь, 1966; 2019). С тех пор гнездования балобана здесь никто не наблюдал. Несмотря на непрерывность работы орнитологов, имеются сведения только о встречах птиц в летний период (Ковшарь, 2019). В 1959–1966 г. балобана трижды встречал А.Ф. Ковшарь (1966): дважды в июне 1961 г. в верховьях р. Кши-Аксу (2500 м) и 29 июля 1962 г. на перевале Кши-Каинды на высоте около 2900 м (северный макросклон Таласского Алатау); 13 апреля 2007 г. балобан наблюдался в ущ. Кши-Каинды (второй нижний левый приток горной части р. Джабаглы, впадающей в р. Арысь) (Скляренко, Шмидт, 2008). Летняя встреча также известна в ущ. Боранчи Ирсу-Машатского участка Сайрам-Угамского национального парка в 1989 г. (Чаликова, 2008). По сведениям И.Ф. Бородихина, в 1970-х гг. балобан был обычен в Боралдайском каньоне, а профессиональный охотник с ловчими птицами Б. Есентаев в середине 1990-х гг. в районе своей фермы в Большом Каратау знал около 20 жилых гнезд балобана – здесь соколы гнездились в нижней части гор на входах в ущелья (Левин и др., 2011).

## Introduction

Saker Falcon (SF, *Falco cherrug*) is the largest falcon that breeds in Kazakhstan. Until the early 1990s, SF was a common species, but in recent decades it became extremely rare, and in some areas it has completely disappeared. SF is included in the IUCN Red List as “Endangered” (BirdLife International, 2021) and in Kazakhstan’s Red Book in Category I “endangered or possibly already extinct” (Levin, 2010). SF numbers in Kazakhstan decreased by 73–79% from 1990 to 2012 and was estimated at 1,000–1,500 breeding pairs in 2012 (Karyakin et al., 2015).

SF was previously very widespread in the mountain ranges of Kazakhstan, mainly in low mountain areas: it was not uncommon in Karatau and Kazgurt, nesting in small numbers along the spurs of Talas Alatau, and in 1958 it was found nesting in the gorge of Kaskharata River (Korelov, 1962; 2012).

A.P. Korovin met a brood of two adult and four juvenile SF in Talas Alatau in June of 1926 in Aksu gorge (at an altitude of 2,000 m above sea level); L.M. Shulpin saw the transfer of prey from an adult SF to a fledgling on August 24, 1933 in the meadows of Kshi-Chimbulak (2,000 m) (Kovshar, 1966; 2019). Since then, no one has observed SF nesting here despite continuous ornithological research; there is only data on bird sightings in the summer (Kovshar, 2019). A.F. Kovshar encountered SF thrice in 1959–1966 (Kovshar, 1966): twice in June 1961 in the upper reaches of the Kshi-Aksu River (2,500 m) and July 29, 1962 at the Kshi-Kaindy Pass at an altitude of about 2,900 m (northern macroslope of Talas Alatau); On April 13, 2007 SF was observed in Kshi-Kaindy gorge (lower left tributary of the mountainous part of Zhabagly River, which flows into Arys River) (Sklyarenko and Schmidt, 2008). Summer encounter is also known in 1989 in Boranchi gorge in Irsu-Mashat section of Sairam-Ugam National Park (Chalikova, 2008). According to I.F. Borodikhin, in the 1970s SF was common in Boraldai Canyon. Professional falconer B. Yesentaev knew about 20 inhabited SF nests in the mid-1990s near his farm in Greater (Bolshoi) Karatau – here SF nested in lower mountain elevations at entrances to gorges (Levin et al., 2011).

In 1983 V.G. Kolbintsev (1986) found a SF nest with a clutch situated on a ledge of a vertical wall in an old Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) nest in Lesser (Maly) Karatau, in the lower part of Almalysay gorge. However, he does not write about SF in his later work on raptors of Lesser Karatau (see Kolbintsev, 2004). B.M. Gubin and F.F. Karpov (2000),

В Малом Каратау в нижней части уш. Алмалысай гнездо балобана с кладкой, устроенное на уступе вертикальной стенки в старом гнезде стервятника (*Neophron percnopterus*), нашёл В.Г. Колбинцев (1986) в 1983 г., однако в более поздней работе о хищных птицах Малого Каратау он о балобане не пишет (см. Колбинцев, 2004). Не сообщают о балобане Б.М. Губин и Ф.Ф. Карпов (2000), работавшие на Малом Каратау в 1991–1993 гг. Тем не менее, учёт хищных птиц на 3-х площадках в Малом Каратау позволил выявить 2 гнездовых участка, занимаемых балобанами ранее, и 1 гнездовой участок, занимаемый в 2010 г. (Карякин и др., 2010). Многолетнее гнездо, рядом с которым встречен самец, в 2010 г. было найдено в ущелье Улькен-Бугунь, при этом балобан не был обнаружен на плато и в верховьях ущелий северного фаса Малого Каратау, в ущельях рек Боралдай и Кашкарата, несмотря на наличие скальных стен высотой 300–400 м и высокой плотности здесь крупных хищных птиц (Карякин и др., 2010; Левин и др., 2011).

При обследовании центральной части хребта Каратау весной 1993 г. в уш. Курсай 8 мая была встречена пара балобанов, гнездо которой располагалось на недоступной скале, рядом с колонией белоголовых сипов (*Gyps fulvus*); в соседнем ущелье р. Икансу 9 мая на скале осмотрено гнездо с 3 птенцами и 2 неоплодотворенными яйцами; ещё одно гнездо, возле которого держалась пара, осмотрено 10 мая на северном склоне хребта восточнее Чулак-Кургана, а в уш. Актогай 11 мая Р. Пфедфером было осмотрено гнездо с 3 яйцами (Карякин и др., 2010; Губин, Белялов, 2017). Эти места посещались Р. Пфедфер и О. Беляловым также 23–25 апреля 1996 г. и 31 мая – 2 июня 1997 г., но балобанов здесь уже не встречали (Карякин и др., 2010). В 2005 г. в северо-западной части Каратау было обнаружено 3 гнездовых участка балобанов (Карякин и др., 2008), а в ходе целевых работ по изучению балобана в Каратау в 2010 г. было найдено 36 гнездовых территорий этого сокола, сосредоточенных преимущественно в Большом (Сырдарьинском) Каратау (Карякин и др., 2010).

Б.М. Губин (2018а, с. 222) для озёр вдоль Каратау указывает балобана в качестве пролётного. В то же время 5 гнездовых участков балобана были выявлены на чинках озёр в 2010 г. (Карякин и др., 2010).

Балобан отмечался на гнездовании в Дарбазинском сае близ Сарыагача в 1985–1990 и 2005 гг. (Матюхин, 2006). В



Балобан (*Falco cherrug*). Фото И. Карякина.  
Saker Falcon (*Falco cherrug*). Photo by I. Karyakin.

who worked at the Lesser Karatau in 1991–1993, do not report SF sightings. At the same time, bird counts at three areas in Lesser Karatau revealed two breeding territories previously occupied by SF, and one breeding territory occupied in 2010 (Karyakin *et al.*, 2010). A perennial nest with a male SF nearby was found in 2010 in Ulken-Bugun gorge, while SF was not found on the plateau or in the upper gorges of the northern face of Lesser Karatau, in gorges of Boraldai and Kashkarat Rivers, despite the presence of rocky walls up to 300–400 m high and higher density of large raptors here (Karyakin *et al.*, 2010; Levin *et al.*, 2011).

A SF pair was encountered when examining the central part of Karatau ridge on May 8, 1993 in Kursai gorge; its nest was located on an inaccessible rock next to a colony of Eurasian Griffon (*Gyps fulvus*); on May 9 a nest with three nestlings and two unfertilized eggs was examined on a rock in the adjacent Ikansu gorge. Another nest with a pair staying nearby was examined on May 10 on the northern slope of the ridge east of Chulak-Kurgan; on May 11 R. Pfeffer examined a nest with three eggs in Aktogay gorge (Karyakin *et al.*, 2010; Gubin, Belyalov, 2017). These areas were also visited by R. Pfeffer and O. Belyalov on April 23–25, 1996 and May 31 – June 2, 1997, but no SF were seen here (Karyakin *et al.*, 2010). In 2005, three SF breeding territories were found in northwestern part of Karatau (Karyakin *et al.*, 2008), and 36 breeding territories of the species were found in the course of a SF targeted study in Karatau in 2010, concentrated mainly in the Greater (Syrdarya) Karatau (Karyakin *et al.*, 2010).

этом же районе в Бельтау пара балобанов гнездилась в одной и той же нише скалы в 2017–2018 гг. (Губин, 2018b). При проверке этого гнезда в 2019 г. птиц здесь не обнаружили, однако самец был сфотографирован А. Исабековым у г. Айгыришан, расположенной в 8 км западнее этого места гнездования соколов (Губин, 2020). На скальных выступах останцев восточнее Чардаринского водохранилища в 1994 г. обнаружено два гнезда балобанов: северо-восточнее пос. Алимтау и между сёлами Жайдак и Алимтау (Денисов, 1995).

Балобаны, гнездящиеся поочередно в 2-х нишах скальных обрывов, наблюдались с 2003 г. ежегодно на останце Карактау (Мурункорак). В 2019 г. здесь размножение отсутствовало, так как, скорее всего, самка была отловлена браконьерами после выставления фотографий птиц на сайт бёвотчерами, но в 2020 г. размножение возобновилось (Губин, 2020).

На 2010 г. гнездовая группировка балобанов в Каратау и на прилегающих территориях являлась самой крупной на всём юге и юго-востоке Казакстана. В Каратау и на чинках озёр севернее гор, с учётом исследований 2005 и 2010 гг., выявлено 36 гнездовых участков соколов, а численность оценена в 105–145 пар, в среднем 125 пар, 76% из которых гнездились в основном горном массиве Каратау (Карякин и др., 2010; 2015). Ещё несколько десятков пар определённо гнездились в низкогорьях от границы с Узбекистаном до Боралдая (см. Губин, 2020).

Из вышеприведённого обзора литературы видно, что балобан, хоть и сократил свою численность на гнездовании в Каратау и ближайших окрестностях, продолжает здесь встречаться в гнездовой период. Чтобы понять, какие изменения произошли на рассматриваемой территории после 2010 г., мы посетили Каратау в 2022 г., провели мониторинг ранее обнаруженных мест гнездования балобана и обследовали дополнительные территории Малого, Большого Каратау и Боралдая с целью выявления новых гнездовых участков. По результатам этих исследований подготовлена данная статья.

### **Природные особенности исследуемой территории**

Согласно физико-географическому районированию, исследуемая территория лежит в Каратауском районе, Каратау-Таласского округа, Северо-Тяньшанской провинции, Тянь-Шанской области, Среднеазиатской горной страны (Мильков, 1977; Гвоздецкий, Михайлов, 1978).

B.M. Gubin (2018a, p. 222) indicates SF as a migrant species at lakes along Karatau. At the same time, five SF breeding territories were found at the lakes in 2010 (Karyakin *et al.*, 2010).

SF was observed nesting in the Darbazinsky sai near Saryagach in 1985–1990 and 2005 (Matyukhin, 2006). A SF pair nested in the same rock niche in the same area in Beltau in 2017–2018 (Gubin, 2018b). When checking the nest in 2019, no birds were found here, however, a male was photographed by A. Isabekov near Aigyris-han Mountain, located 8 km west of this SF breeding territory (Gubin, 2020). In 1994, two SF nests were discovered on rocky ledges of outcrops east of Chardara reservoir: northeast of the village of Alimtau and between the villages of Zhaydak and Alimtau (Denisov, 1995).

SF that nested alternately in two niches of rocky cliffs have been observed annually since 2003 at Karaktau outcrops (Murunkorak). In 2019 no breeding was indicated here, since a female was most likely caught by poachers after birdwatchers uploaded SF photos on the website, but in 2020 breeding resumed (Gubin, 2020).

In 2010, the SF breeding group in Karatau and adjacent territories was the largest throughout south and southeast Kazakhstan. 36 SF breeding territories were identified in Karatau and on lakes north of the mountains, on the basis of studies in 2005 and 2010, with abundance estimated at 105–145 pairs, 125 pairs on average, 76% of which nested in the main Karatau mountain range (Karyakin *et al.*, 2010; 2015). A few dozen more pairs definitely nested in low mountains near the border with Uzbekistan to Boraldai (see Gubin, 2020).

This literature review shows that while SF has declined in nesting population in Karatau and adjacent territories, it continues to be encountered here during the breeding period. To understand the changes that have occurred in the study area after 2010, we visited Karatau in 2022 and monitored previously discovered SF breeding territories and additional areas near Lesser and Greater Karatau and Boraldai in order to identify new breeding territories. This article is based on the results of these studies.

### **Natural features of the study area**

According to physical-geographical zoning, the area in question lies in the Karatau region of Karatau-Talas district, North Tien Shan province, Tien Shan region, mountainous



Хребет Каратау складывается системой параллельных гряд, ориентированных с юго-востока на северо-запад (Жемчужников, Ергалиев, 2010). Наивысшая точка хребта – гора Мынжилки (верховья Бессаз, 2176 м). Для большей части хребта абсолютные высоты в среднем составляют 1000 м и менее, с относительными превышениями над долинами в 50–250 м.

Каратау находится в зоне континентального засушливого климата.

Согласно принятому в Казахстане ботанико-географическому районированию, территория района исследований относится к Каратауской подпровинции Среднеазиатской горной провинции, Ирано-Туранской суб области, Сахаро-Гобийской пустынной области (Республика Казахстан..., 2006; Национальный атлас..., 2010).

Согласно биогеографическому районированию, основанному на позвоночных животных, рассматриваемая территория лежит в Среднеазиатской высокогорной провинции (Кучерук, 2006), а по зоогеографическому районированию Северной Евразии по фауне наземных позвоночных – в Горно-анклавной среднеазиатской провинции Пустынно-степной подобласти Пустынно-степного региона (Равкин и др., 2014).

С 2017 по 2022 гг. на Каратау наблюдается затяжная депрессия численности грызунов, коснувшаяся всех видов, от большой песчанки (*Rhombomys opimus*) и жёлтого суслика (*Spermophilus fulvus*) до полёвок (*Microtus socialis* и *Alticola argentatus*), что негативно отразилось на размножении всех групп хищных животных (рептилий, птиц и млекопитающих), и в особенности на размножении балобана.

#### Методика исследований

Первые целевые исследования гнездовых группировок балобана в горах Каратау и на прилегающих территориях были проведены в 2003, 2005 и 2010 гг.

Учёт балобанов в 2010 г. был осуществлён на 11-ти площадках общей площадью 1273,2 км<sup>2</sup>, что составило 9,6% от общей площади горных массивов Боралдая, Малого и Большого Каратау и 30,1% от общей площади местообитаний балобана в горах. Линейные маршруты проведены на 6-ти участках чинков общей протяжённостью 20,85 км, что составило 14,27% от общей протяжённости чинков на подгорной равнине (Карякин и др., 2010). Рассчитывался средневзвешенный показатель плотности на площадках и маршрутах (Карякин, 2004), ошибка средней плотности и



Северный фас Каратау. Фото И. Карякина.  
Northern face of Karatau. Photo by I. Karyakin.

Central Asian country (Milkov, 1977; Gvozdetzky, Mikhailov, 1978).

The Karatau Range is composed of a system of parallel ridges oriented from southeast to northwest (Zhemchuzhnikov, Ergaliev, 2010). The highest point of the ridge is Mount Mynzhilki (upper Bessaz, 2176 m). For most of the ridges, the absolute heights average 1000 m or less, with relative elevations above the valleys of 50–250 m.

Karatau is in the continental arid climate zone.

According to botanical and geographical zoning used in Kazakhstan, the study area is located in Karatau, a sub-province of the Central Asian mountainous province, the Iran-Turan sub-region, the Sahara-Gobi desert region (Republic of Kazakhstan ..., 2006; National Atlas ..., 2010).

According to biogeographic zoning based on vertebrates, the study area lies in the Central Asian high-mountain province (Kuchерук, 2006), while the zoogeographic zoning is Northern Eurasia, and in terms of the fauna of terrestrial vertebrates, it lies in the Central Asian mountain-enclave province of the Desert-steppe subregion of the Desert-steppe region (Ravkin *et al.*, 2014).

A prolonged depression in the number of rodents has been observed at Karatau between 2017 and 2022, affecting all species from the Great Gerbil (*Rhombomys opimus*) and Yellow Ground Squirrel (*Spermophilus fulvus*) to Voles (*Microtus socialis* and *Alticola argentatus*), a situation which has overall negatively affected reproduction of predatory animals groups (reptiles, birds, and mammals), and especially breeding of SF.

несимметричный доверительный интервал (Равкин, Челинцев, 1990).

Численность балобана оценивалась в среде ГИС (ArcView 3.3 ESRI).

Площадь местообитаний балобана в горах Малого Каратау, Боралдая и Большого Каратау была определена по контурам скальных массивов в ГИС на основании векторной карты, подготовленной по космоснимкам Landsat ETM+ 2000 г. и растровым картам масштаба 1:500000 и составила 5864,1 км<sup>2</sup>; протяжённость чинков на подгорной равнине северного фаса Малого Каратау составила 146,12 км (Карякин и др., 2010).

В 2022 г. мы провели частичный мониторинг известных гнездовых участков балобана, а также обследовали большие по площади территории, чтобы уточнить детали распространения вида и его численность. Далее мы осуществили моделирование распространения вида по всей совокупности гнездовых участков и пересчитали площади гнездопригодных биотопов, местообитаний и численность балобана в 2010 г., а также рассчитали численность вида на гнездовании по состоянию на 2022 г.

Локации известных гнездовых участков балобана за 2003–2010 и 2022 гг. были внесены в раздел «Пернатые хищники Мира»<sup>22</sup> веб-ГИС «Фаунистика» Российской сети изучения и охраны пернатых хищников, откуда выведен датасет в формате шейп-файла для дальнейшей обработки в ГИС.

Полевые исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями по изучению соколообразных и совообразных (Карякин, 2004) и балобана (Карякин, 2010) и детально описаны в статье по стервятнику в Каратау (Карякин и др., 2022a) с той лишь разницей, что для выявления балобана осматривались не только скалы и обрывы, но и опоры высоковольтных ЛЭП и все типы древесных насаждений в пригодных для балобана местообитаниях. Осмотр мест, пригодных для гнездования балобана, был ориентирован в первую очередь на идентификацию активных гнёзд.

Координаты мест обнаружения птиц и их гнёзд определялись с помощью GPS/ГЛОНАС-навигаторов или в программе LocusMap<sup>23</sup> на смартфонах. Информация о найденных птицах и гнёздах заносилась в ведомости учёта по установленной форме.

Для работы по проекту были сформированы две исследовательские группы,

## Methods

The first studies targeting SF breeding groups in the Karatau mountains and adjacent territories were carried out in 2003, 2005, and 2010.

In 2010, SF were counted at 11 plots with a total area of 1,273.2 km<sup>2</sup>, which accounted for 9.6% of the total area of Boraldai and Lesser and Greater Karatau mountain ranges, and 30.1% of the total SF habitat area in the mountains. Linear routes were drawn on six sections of chinks with a total length of 20.85 km, which amounted to 14.27% of the total chink length on the piedmont plain (Karyakin *et al.*, 2010).

Weighted average density index on plots and routes (Karyakin, 2004), average density error, and asymmetric confidence interval (Ravkin, Chelintsev, 1990) were calculated.

SF abundance was estimated using GIS (ArcView 3.3 ESRI).

SF habitat area in the Lesser Karatau, Boraldai, and Greater Karatau was determined by contours of rock massifs in GIS on the basis of a vector map prepared using Landsat ETM+ satellite images from 2000 and raster maps at a scale of 1:500 000 and amounted to 5864.1 km<sup>2</sup>; length of chinks on the foothill plain of the northern face of the Lesser Karatau was 146.12 km (Karyakin *et al.*, 2010).

In 2022, we carried out partial monitoring of the known SF breeding territories, and also surveyed large areas in order to clarify the details of species distribution and abundance. Next, we modeled species distribution over the entire set of breeding territories and recalculated areas of breeding biotopes, habitats, and abundance of SF in 2010, and also calculated the species abundance during nesting as of 2022.

Locations of known SF breeding territories for 2003–2010 and 2022 were included in the “Raptor Raptors of the World”<sup>22</sup> section of the web GIS “Faunistics” of the Russian Raptor Research and Conservation Network, from where the dataset was derived in shape-file format for further processing in the GIS.

Field studies were conducted in accordance with Methodological Recommendations for the Study of Birds of Prey and Owls (Karyakin, 2004) and Saker Falcon (Karyakin, 2010) and are described in detail in an article on the Egyptian Vulture in Karatau (Karyakin *et al.*, 2022a), with the only difference being that not only rocks and cliffs, but high-voltage power pylons and all types of arboreal planta-

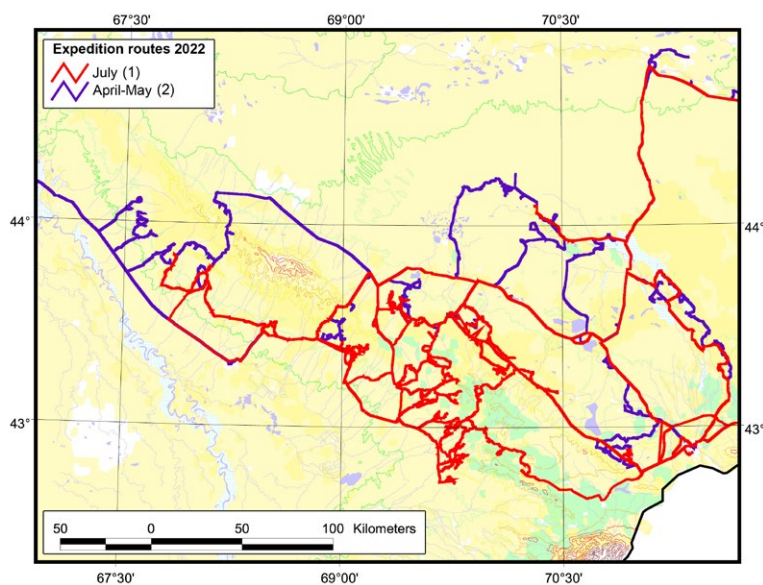
<sup>22</sup> <http://rrrcn.wildlifemonitoring.ru>

<sup>23</sup> <http://www.locusmap.app>

которые передвигались на автомобилях повышенной проходимости (УАЗ Патриот и Toyota Prado). Общая протяжённость автомобильных маршрутов в зоне работы южнее р. Чу в 2022 г. составила 9655 км, в том числе 3393 км – в апреле – мае и 6262 км – в июле (2772 км и 3490 км – пробег каждого автомобиля) (рис. 1).

Как и в работе по стервятнику (Карякин и др., 2022а), гнездовая территория балобана считалась занятой, если наблюдалось присутствие пары птиц с гнездовым поведением (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 или остатки яичной скорлупы или птенцового пуха. Успешными считались гнёзда, из которых успешно вылетел хотя бы 1 птенец. Но так как часть гнёзд не удалось проверить в конце сезона размножения, то в ряде анализов мы оперируем понятием «успешное гнездо на момент проверки» – это гнездо, в котором на момент проверки находился хотя бы один живой птенец. Покинутой гнездовой территорией считали участок, на котором обнаружено старое гнездо без признаков посещения птицами и на участке птицы не встречены.

В 2010 г. на рассматриваемой территории было заложено 11 учётных площадок общей площадью 1273,2 км<sup>2</sup> и линейные маршруты проведены на 6-ти участках чинков общей протяжённостью 20,85 км (Карякин и др., 2010). В 2022 г. было заложено 16 учётных площадок общей площадью 4191,54 км<sup>2</sup> (рис. 2), часть из которых частично перекрывалась с площадками 2010 г. Площадь перекрытия составила 521,72 км<sup>2</sup>.



tions in suitable SF habitats were inspected to identify SF as well. While inspecting suitable habitats for SF, we focused primarily on identifying active nests.

Coordinates of bird detection and their nests were determined using GPS/GLONAS navigators or using the LocusMap<sup>23</sup> application on smartphones. Information about detected birds and nests was entered into a tracking sheet following the established form.

Two research groups were formed to work on the project and traveled using off-road vehicles (UAZ Patriot and Toyota Prado). The total auto route length in the survey area south of the Chu River in 2022 was 9,655 km, including 3,393 km in April–May, and 6,262 km in July (2,772 km and 3,490 km for each vehicle respectively) (Fig. 1).

As in the Egyptian Vulture study (Karyakin *et al.*, 2022a), breeding territory was considered occupied if a pair of birds with nesting behavior was observed (copulation in a nesting habitat, flights with nest-building material, bringing food to the same place, territory protection). Nests were considered active if brooding birds were observed, and nests contained nestlings, eggs, or remnants of eggshells or nestling down. Nests from which at least one nestling successfully fledged were considered successful. Because some nests could not be checked at the end of the breeding season, in a number of analyses we operated with the concept that “successful nest at the time of verification” is a nest in which there was at least one live nestling at the time of the check. Breeding territory was considered abandoned at old breeding territories lacking evidence of bird visits and no birds present.

In 2010, 11 survey plots with a total area of 1,273.2 km<sup>2</sup> were established in the study area, and linear routes were drawn in 6 sections of chinks with a total length of 20.85 km (Karyakin *et al.*, 2010). In 2022, 16 survey plots were identified including a total area of 4,191.54 km<sup>2</sup> (Fig. 2), some of which partially overlapped with the plots from 2010. The overlap area was 521.72 km<sup>2</sup>.

We tried to minimize bird omissions and identify all SF nests located at the survey plots.

Рис. 1. Маршрут экспедиции 2022 г.  
Легенда: 1 – июль, 2 – апрель – май.

Fig. 1. Field research route 2022.  
Key: 1 – July, 2 – April – May.



На учётных площадках мы старались минимизировать пропуски птиц и выявить все гнёзда балобана, которые располагались в пределах площадок. На 70% площадок маршруты повторялись трижды за сезон с середины апреля по конец июля, чтобы исключить пропуск гнездящихся птиц. Поэтому при расчётах мы считаем численность балобана на площадках абсолютной, несмотря на определённую, но незначительную вероятность пропуска гнездящихся пар.

Внутри площадок были определены площади гнездопригодных биотопов и местобитаний балобана. По ним экстраполировали показатели плотности балобана, полученные на площадках. Также для площади гнездопригодных биотопов строилась сеть случайных точек, имитирующая возможное распространение балобана.

Моделирование распространения вида проводилось по полной аналогии с работой по стервятнику (Карякин и др., 2022a). Мы также сравнили полученные результаты с таковыми 2010 г., чтобы скорректировать прежние оценки численности балобана.

Для определения предпочтений в выборе гнездопригодных биотопов балобана и для их моделирования мы определили пространственные переменные в масштабе микросреды – в радиусе 100 м вокруг гнезда, и макросреды – в радиусе 2 км вокруг гнезда.

Для классификации гнездопригодных биотопов мы использовали не только регулярно занимаемые активные гнёзда на гнездовых территориях пар, но и их альтернативные гнёзда, в которых размножение наблюдалось в прошлом. Мы оценили возможность псевдорепликации параметров и решили её игнорировать, потому что выборка была небольшая: альтерна-

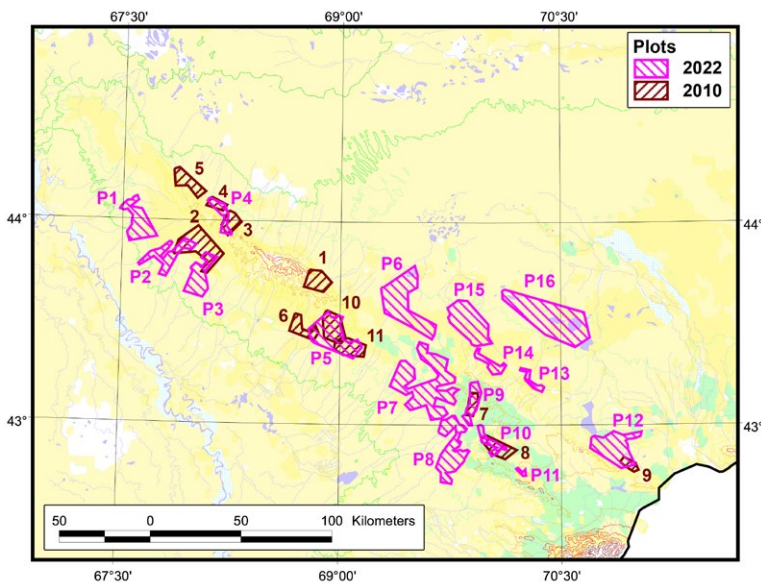
70% of the total routes were visited three times over the season between mid-April and late July in order to avoid missing nesting birds. Therefore, when calculating, we consider the SF population on the plots as absolute, despite a certain probability of missing nesting pairs.

Areas of SF habitats were determined within the plots. SF densities obtained from routes and plots were extrapolated from them. A network of random points was built for the area of breeding biotopes, simulating possible SF distribution.

Modeling species distribution was carried out analogously with the Egyptian Vulture study (Karyakin *et al.*, 2022a). We also compared our results with those of 2010 in order to correct previous estimates of SF abundance. In order to determine preferences in the choice of breeding biotopes by SFs and to model them, we determined spatial variables at the microenvironment scale (within a radius of 100 m around the nest) and macroenvironment (within a radius of 2 km around the nest).

To classify breeding biotopes, we not only used regularly occupied active nests in breeding territories, but also alternative nests, in which breeding was observed in the past. We assessed the possibility of parameter pseudo-replication and decided to ignore it because the sample was small, and alternative nests were noted only in 10.42% of SF breeding territories ( $n=48$ ) and the distance between active and alternative nests exceeded 100 m, thus excluding pseudo-replication parameters at the microenvironment scale altogether, so it could not have a noticeable effect on modeling preferences in the choice of breeding biotopes by SFs. Thus, 53 SF nests on 48 different breeding territories were included in our analysis.

Biotope characteristics for SF nests were compared with a similar number of random points created within the boundaries of the extent bounded by coordinates: 1 – N 44.96832 E 66.34158, 2 – N 45.00587 E 72.18636, 3 – N 41.04311 E 72.04952, 4 – N 41.00781 E 66.57031. A map of breeding biotopes and breeding habitats was constructed for the same extent.



**Рис. 2.** Учётные площадки. Нумерация площадок соответствует нумерации в табл. 5–7.

**Fig. 2.** Survey plots. Plot numbering corresponds to that in Tables 5–7.



тивные гнёзда отмечены лишь на 10,42% гнездовых участков балобана ( $n=48$ ), а дистанции между альтернативными и активными гнёздами превышали 100 м, тем самым вообще исключая псевдорепликацию параметров в масштабе микросреды, поэтому вклад псевдорепликации не мог оказать заметного влияния на моделирование предпочтений в выборе гнездопригодных биотопов. Таким образом, мы включили в анализ 53 гнёзда балобана на 48 различных гнездовых территориях.

Характеристики биотопов для точек гнёзд балобана сравнивались с аналогичным числом случайных точек, созданных в границах экстенда, ограниченного координатами: 1 – N 44.96832 E 66.34158, 2 – N 45.00587 E 72.18636, 3 – N 41.04311 E 72.04952, 4 – N 41.00781 E 66.57031. Для этого же экстенда строилась карта гнездопригодных биотопов и местообитаний балобана.

Для описания признаков гнездопригодных биотопов на уровне микро- и макросреды использованы 90 объясняющих переменных, 87 из которых получены 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 1<sup>24</sup>), и 3 переменных – получены путём измерения дистанций между ближайшими соседями, до гнёзд беркута (*Aquila chrysaetos*) и ближайших ферм.

Мы также использовали Dynamic World V1 (Brown *et al.*, 2022) и ERA5-Land Monthly Aggregated – ECMWF Climate Reanalysis (Muñoz Sabater, 2019) для отслеживания изменений в ландшафте и климате на гнездовых участках балобанов с 2017 по 2022 гг., чтобы понять насколько изменился ландшафт и погодные условия, и сказались ли эти изменения на балобанах.

Все измерения проводились в ArcView GIS 3.3 ESRI в проекции Orthographic (Datum: WGS 84, Spheroid: Sphere, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 45), где значения площадей для рассматриваемой территории меньше ( $-2,35 \text{ км}^2$  на  $1000 \text{ км}^2$ ) относительно проекции Albers Equal-Area Conic для Казахстана (Datum: WGS 84, Spheroid: Krasovsky, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 0,



Балобан. Фото И. Карякина.  
Saker Falcon. Photo by I. Karyakin.

To describe the features of breeding biotopes at the level of micro- and macro- environments, 90 explanatory variables were used, 87 of which were obtained from remote sensing (RS) products: 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) (Appendix 1<sup>24</sup>), and 3 variables obtained by measuring the distances between the nearest neighbors, to Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) nests, and the nearest farms.

We also used Dynamic World V1 (Brown *et al.*, 2022) and ERA5-Land Monthly Aggregated – ECMWF Climate Reanalysis (Muñoz Sabater, 2019) to track changes in landscape and climate at SF breeding territories between 2017 and 2022 to understand how landscape and weather conditions have changed and whether these changes affected SFs.

All measurements were carried out in ArcView GIS 3.3 in the Orthographic projection (Datum: WGS 84, Spheroid: Sphere, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 45), where the area values for the study area are less ( $-2.35 \text{ km}^2$  per  $1000 \text{ km}^2$ ) relative to Albers Equal-Area Conic projections for Kazakhstan (Datum: WGS 84, Spheroid: Krasovsky, Central Meridian: 70, Reference Latitude: 0, Standard Parallel 1–2: 40–56, False Easting: 8500000, False Northing: 0), which was used in the 2010 research (Karyakin *et al.*, 2010).

<sup>24</sup> <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2022/12/App1-Variables-FC.xls>

Standard Parallel 1–2: 40–56, False Easting: 8500000, False Northing: 0), которая использовалась в работе 2010 г. (Карякин и др., 2010).

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). Формирование выборки переменных и статобработка материала осуществлялись в соответствии с общепринятыми рекомендациями (United States Environmental Protection Agency, 2002).

Переменные были проверены на статистическую нормальность с использованием критерия Лиллиефорса. Средние значения для точек присутствия балобана и случайных точек сравнивались с использованием *t*-критерия.

Изучив взаимосвязи переменных с помощью коэффициента корреляции Спирмена ( $r$ )<sup>25</sup> и рассчитав коэффициент инфляции дисперсии (VIF), чтобы избавиться от мультиколлинеарности, мы отбросили наименее значимые переменные для базовой модели, коэффициент ( $r$ ) корреляции в парах которых был  $>0,75$ , а  $VIF > 7,5$ . В итоге для анализа мы сформировали наборы для 4 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).

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

В соответствии с рекомендациями (Brotons *et al.*, 2004) были подготовлены наборы данных отсутствия балобанов и вместе с данными об их присутствии (точки гнезд), импортированы в Google Earth Engine (GEE). Набор растров данных дистанционного зондирования Земли был подобран и классифицирован через GEE согласно ранее предложенному алгоритму

Random point generator and Nearest Features v. 3.8b were used (Jenness, 2004; 2005) to create a system of random points and determine distances between nearest neighbors. Variables sampling and statistical processing of material were carried out in accordance with generally accepted recommendations (United States Environmental Protection Agency, 2002).

The variables were tested for statistical normality using the Lilliefors test. Mean values for SF presence points and random points were compared using a *t*-test.

After examining the relationships between variables using the Spearman correlation coefficient ( $r$ )<sup>25</sup> and calculating the dispersion inflation factor (VIF) to eliminate multicollinearity, we discarded the least significant variables for the base model, the correlation coefficient ( $r$ ) in pairs of which was  $>0.75$  and  $VIF > 7.5$ . As a result, we made four sets of models for analysis, differing in the representation of variables that are correlated and important according to the *t*-test data within them (for the number of variables in the models, see the “Research Results” section).

To check whether the model’s predicted values depend on the geographical distance between locations and to eliminate spatial autocorrelation, the Moran test (R-function “moran.test” in the “spdep” package) was used (Griffith, Peres-Neto, 2006; Dormann *et al.*, 2007). Visualization of test results took place in accordance with the recommendations of T.E. Samsonov (2021).



Типичная гнездовая скала балобана в горах Каратау.  
Фото И. Карякина.

Typical nesting cliff of the Saker Falcon in the Karatau mountains. Photo by I. Karyakin.

<sup>25</sup> <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2022/12/collinearityFC.jpg>

рабочего процесса подбора моделей распространения видов (Crego *et al.*, 2022), но без точек псевдоотсутствий или фона, так как мы использовали точки реального отсутствия балобанов, которые являются более приоритетными в моделировании распространения видов (Brotons *et al.*, 2004).

Мы разделили данные о местоположении балобанов на наборы для обучения (80%) и тестирования (20%) и внедрили 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 25 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 Карра (Brownlee, 2016; Zhang *et al.*, 2021).

В результате операции в GEE была построена карта гнездопригодных для балобана 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 балобана мы осуществляли двумя методами, как и в работе 2010 г.:

1 – прямой пересчёт средневзвешенного показателя плотности с площадок (с учётом площадок, на которых балобан 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). Параметры корректировки сгенерированного слоя точек для получения итогового покрытия, лёгшего в основу итоговой оценки численности, описаны в результатах исследования (см. ниже).

Для изучения питания фиксировались все остатки на гнёздах и под ними, а также по возможности разбирались погадки

We used Random Forest for image classification, a widely used species distribution modeling technique in recent studies (Zhang *et al.*, 2019). We used probability and regression variants.

According to recommendations (Brotons *et al.*, 2004), datasets of SF absence were prepared and, together with their presence data (nesting points), were imported into the Google Earth Engine (GEE). The Google Earth remote sensing raster datasets were fitted and classified through GEE according to the previously proposed species distribution model fitting workflow algorithm (Crego *et al.*, 2022), but without pseudo-absence or background points, as we used real absence points for SFs, which are a higher priority in species distribution modeling (Brotons *et al.*, 2004).

We split the SF location data into training (80%) and testing (20%) sets and implemented a spatial block cross-validation method to split the data for training and model validation (Roberts *et al.*, 2017; Valavi *et al.*, 2019; Crego *et al.*, 2022). During the analysis, 25 iterations were run with random block division.

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

As a result of operation in the GEE, a map of SF breeding biotopes was built and exported in Geotiff format as a raster with pixels ranked by the probability of presence. The raster was vectorized in ArcView in shapefile format. Pixels with a probability of the species presence of more than 50% are classified as breeding biotopes.

To create a map of total habitat area around pixels with a probability of species presence of greater than 50%, buffers were built with a radius equal to half the average distance between nearest neighbors.

We extrapolated SF abundance using two methods, as in a 2010 research:

1 – Direct recalculation of the weighted average density index from plots (taking into account plots where SF was not found) to the area of habitats (Karyakin, 2004) with the calculation of an asymmetric confidence interval (Ravkin, Chelintsev, 1990);

2 – Method for generating random points over a given range of distances between nearest neighbors based on a regular network (further RPG). A detailed description of the method was given earlier (see Karyakin *et al.*, 2022a).

Parameters for adjusting the generated point layer to obtain the final coverage, which

Слётки балобана в гнезде на скале.  
Фото И. Карякина.

Saker Falcon fledgling in the nest on cliff.  
Photo by I. Karyakin.



птиц, обнаруженные под гнёздами. Подсчёт количества жертв велся по фрагментам черепа (клювы или челюсти) и лапам (лапам и крыльям у птиц).

Для понимания прежнего распространения балобана в Каратау мы провели поиск статей, содержащих ключевые слова «балобан» + *Falco cherrug* + «Каратау», в базах данных цитирования научных статей, в Google Scholar и в открытых электронных библиотеках, таких как Электронная биологическая библиотека<sup>26</sup>, Фундаментальная электронная библиотека «Флора и фауна» А. Шипунова<sup>27</sup>, в разделе «Публикации» на сайте Института зоологии Министерства образования и науки Республики Казахстан<sup>28</sup>, а также в архиве публикаций Российской сети изучения и охраны пернатых хищников<sup>29</sup>.

Также мы скачали доступные датасеты из электронных систем регистрации птиц, таких как GBIF<sup>30</sup>, iNaturalist<sup>31</sup>, eBird<sup>32</sup> и веб-ГИС «Фаунистика»<sup>33</sup>, создали датасет с сайта Kazakhstan Birdwatching Community<sup>34</sup> в формате MS Excel<sup>35</sup> и выбрали оттуда все наблюдения балобана на Каратау и прилегающих территориях (Амирекул и др., 2022).

Мы также обобщили данные по фенологии и гнездовой биологии балобана на рассматриваемой территории.

Простейшую математическую обработку данных осуществляли в MS Excel 2003 и Statistica 10. Для выборок приводятся диапазон данных и среднее значение  $\pm SD$ , если не оговаривается иного.

## Результаты исследований

### Полевые исследования

В ходе полевых исследований 2022 г. были проверены 14 гнездовых участков балобана, выявленных в 2010 г. Из них лишь 2 участка оказались занятыми, и только на одном из них было успешное размножение. Доля покинутых птицами участков составила 85,71%. На территориях, которые в 2022 г. были обследованы впервые, выявлено 10 гнездовых участков балобана, 3 из которых занимались птицами ранее,

formed the basis of the final abundance estimate, are described in the study results (see below).

To study diet, all remains found in and under nests were recorded. Amount of prey was counted by skull fragments (beaks or jaws) and paws (paws and wings in birds).

To understand past SF distribution in Karatau, we searched for articles containing the word “baloban” (in Cyrillic) + *Falco cherrug* + Karatau in scientific article citation databases, Google Scholar, and open electronic libraries, such as Electronic Biological Library<sup>26</sup>, Fundamental Electronic Library “Flora and Fauna” by A. Shipunov<sup>27</sup>, in the “Publications” section of the Institute of Zoology website of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan<sup>28</sup>, as well as in the publication archive of Russian Raptor Research and Conservation Network<sup>29</sup>.

We also downloaded available datasets from electronic bird registration systems, such as GBIF<sup>30</sup>, iNaturalist<sup>31</sup>, eBird<sup>32</sup>, and the WebGIS “Faunistics”<sup>33</sup>, created a dataset from the Kazakhstan Birdwatching Community<sup>34</sup> website in MS Excel<sup>35</sup> format and selected all SF sightings in Karatau and adjacent territories from there (Amirekul *et al.*, 2022).

We also summarized data on SF phenology and nesting biology in the study area.

Basic mathematical data processing was carried out in MS Excel 2003 and Statistica 10. Data range and mean  $\pm SD$  are given for samples unless otherwise noted.

<sup>26</sup> <http://zoomet.ru>

<sup>27</sup> <http://herba.msu.ru/shipunov/school/sch-ru.htm>

<sup>28</sup> <http://zool.kz/eng/main-page>

<sup>29</sup> <http://rrrcn.ru/ru/library>

<sup>30</sup> <http://www.gbif.org>

<sup>31</sup> <http://www.inaturalist.org>

<sup>32</sup> <http://ebird.org>

<sup>33</sup> <http://wildlifemonitoring.ru>

<sup>34</sup> <http://birds.kz>

<sup>35</sup> <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2022/12/birds-kz-2sheets.xls>



но были покинуты соколами задолго до 2022 г., 7 участков оказались занятыми и на 5 из них было успешное размножение. Доля покинутых птицами участков из числа вновь выявленных составила 30,0%. В сумме за 2022 г. из числа посещенных 24 гнездовых участков балобана 37,5% занималось соколами и 62,5% было покинуто (табл. 1, рис. 3). Из этих 24 посещенных гнездовых участков балобана 2 оказались реально новыми, судя по отсутствию заметных следов помёта на присадах и гнёздах. С учётом 9 занятых гнездовых участков и 15 покинутых, можно оценить сокращение численности балобана на исследованной территории за период с 2010 по 2022 г. на 59,09%. Однако сокращение численности существенно больше и лежит в диапазоне от 70 до 85,71%. Это объясняется тем, что новые гнездовые участки балобана, выявленные в 2022 г., лежат за пределами тех территорий, на которых плотные гнездовые группировки этого сокола были выявлены в 2010 г. То есть в плотных гнездовых группировках мы наблюдаем катастрофическое падение численности балобана, а в зоне с низкой численностью появляются новые пары, но она продолжает оставаться здесь низкой. К тому же на большинстве новых учётных площадок, заложенных в местообитаниях балобана в 2022 г., этот сокол не выявлен. Не исключено, что часть балобанов из плотных гнездовых группировок перераспределась по территории, но это не оказало существенного влияния на увеличение встречаемости этого сокола, что наглядно демонстрируют учёты (см. ниже). Таким образом, сокращение

## Research results

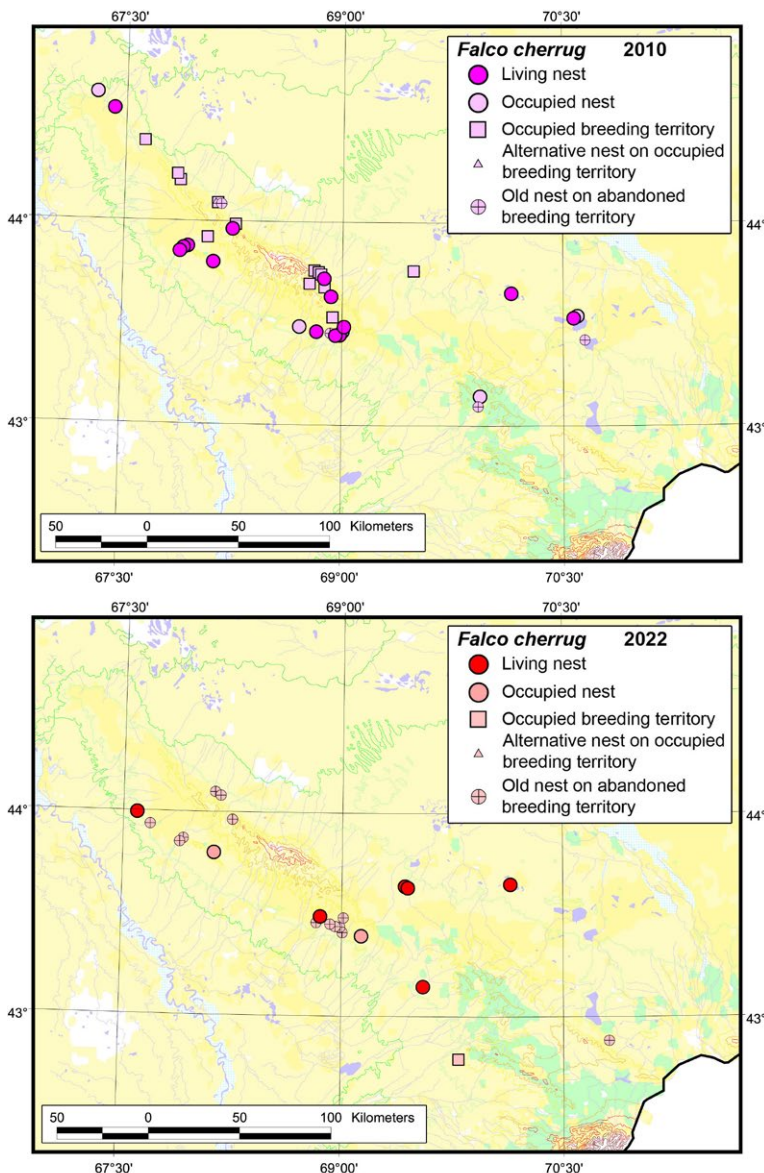
### Field research

14 SF breeding territories identified in 2010 were inspected during the 2022 field study. Of these, only two breeding territories were found to be occupied, and successful breeding was found on one. The proportion of abandoned territories was 85.71%. Ten SF breeding territories were identified in the areas first surveyed, three of which were occupied by birds earlier, but were abandoned long before 2022, seven territories were occupied, and five of them had successful breeding. The proportion of abandoned territories among the newly identified ones was 30.0%. In total, of 24 SF breeding territories visited in 2022, 37.5% were occupied by birds, and 62.5% were abandoned (Table 1, Fig. 3). Of these 24 visited SF breeding territories, two were found to be new, judging by the absence of noticeable droppings on perches and nests. Given nine occupied breeding territories and 15 abandoned ones, we estimate the decrease in SF population in the study area at 59.09% for 2010–2022. However, the reduction in abundance is much greater and lies in the range between 70 and 85.71%. This is explained by the fact that new SF breeding territories identified in 2022 lie outside the areas where dense SF breeding groups were identified in 2010. That is, we observe a catastrophic decline in SF abundance in dense breeding groups, and new pairs appear in a zone with low density, where abundance still remains low. In addition, in 2022 SF was not found on most of the new survey plots established in SF habitats. It is possible that some SFs from dense breeding groups redistributed over the area, but this

**Табл. 1.** Результаты мониторинга и выявления новых гнездовых участков балобана (*Falco cherrug*) в горах Каратау в 2022 г.

**Table 1.** Results of monitoring and identification of new Saker Falcon breeding territories (*Falco cherrug*) in the Karatau Mountains in 2022.

Гнездовые участки Breeding territories	Успешные гнёзда на момент первой проверки Successful nests at time of first observation	Занятые гнездовые участки, не подтверждённые находкой успешных гнёзд Occupied breeding territories not confirmed by successful nests	Покинутые гнездовые участки Abandoned breed- ing territories
Ранее выявленные гнездовые участки Previously knowing breeding territories	14	1	12
Впервые выявленные гнездовые участки Breeding territories first discovered	10	5	3
Всего / Total	24	6	15
Доля / Share, %	100	25.0	62.5



**Рис. 3.** Гнездовые участки балобана (*Falco cherrug*), осмотренные в горах Каратау (Южный Казахстан) в 2010 г. – вверху, и в 2022 г. – внизу. Условные обозначения: 1 – успешное гнездо, 2 – занятое гнездо, 3 – занятая гнездовая территория, 4 – альтернативное гнездо на занятой территории, старое гнездо на покинутой птицами гнездовой территории.

**Fig. 3.** Breeding territories of Saker Falcon (*Falco cherrug*) surveyed in the Karatau Mountains (South Kazakhstan) in 2010 – above, and in 2022 – below.

did not significantly impact its frequency of occurrence, which is clearly demonstrated by counts (see below). Thus, a reduction of about 75–80% seems more realistic and is supported by counts of nesting SFs at all plots.

The distance between active and old alternative SF nests within the same territory varied between 0.05–1.32 km, on average ( $n=5$ )  $0.48 \pm 0.51$  km in 2010, to 0.13–0.48 km, on average ( $n=3$ )  $0.35 \pm 0.19$  km in 2022, averaging ( $n=8$ )  $0.43 \pm 0.41$  km over the entire observation period.

Distances between nearest SF neighbors in 2003–2010 ranged from 1.9 to 59.0 km, averaging ( $n=23$ )  $12.38 \pm 15.41$  km. On plots where breeding pairs misses are minimal, the distance between neighboring SF breeding territories in Karatau in 2010 varied from 2.0 (plot No. 1) to 13.75 km (plot No. 2), averaging  $5.18 \pm 3.50$  km (Karyakin *et al.*, 2010). Including the alternative nests occupied after 2010, it can be said that until at least 2015, SF nested within 1.9–15.26 km between pairs, on average ( $n=19$ ) at  $6.18 \pm 4.49$  km (Fig. 4): 47.4% SF pairs nested in the range of 2–4 km between pairs, along the periphery of the inner Karatau basins, where its distribution was normal. But along the outer periphery of the mountains and on chinks it already nested unevenly. In 2022, there was no longer any normal SF distribution over the entire study area: species distribution during nesting was random in the entire complex of breeding biotopes. Only two pairs (successful ones at that) were found in the gorge near Zhanatas at a distance of 1.79 km from each other, and the rest were tens of kilometers apart, given a minimum probability of missing them at the survey plots. In 2022, the average distance between the nearest neighbors ( $n=5$ ) was  $34.8 \pm 21.65$  km (1.79–56.03 km), an increase by six times compared to the period before 2015.

We measured distances from SF nests to nearby farms and nests and registration points for Golden Eagle pairs and found no

численности на 75–80% выглядит более реальным и поддерживается результатами учётов гнездящихся балобанов на всех площадках.

Дистанции между активными и старыми альтернативными гнёздами балобана в пределах одного участка изменялись от 0,05–1,32 км, в среднем ( $n=5$ )  $0,48 \pm 0,51$  км в 2010 г., до 0,13–0,48 км, в среднем ( $n=3$ )  $0,35 \pm 0,19$  км в 2022 г., составив в среднем за весь период наблюдений ( $n=8$ )  $0,43 \pm 0,41$  км.

Дистанции между ближайшими соседями балобана в 2003–2010 гг. варьировали от 1,9 до 59,0 км, составив в среднем ( $n=23$ )  $12,38 \pm 15,41$  км. На площадках, где пропуски гнездящихся пар минимальны, дистанция между соседними гнездовыми участками балобанов в Каратау в 2010 г. варьировала от 2,0 (площадка №1) до 13,75 км (площадка №2), составляя в среднем  $5,18 \pm 3,50$  км (Ка-

рякин и др., 2010). С учётом альтернативных гнёзд, занимавшихся после 2010 г., можно говорить о том, что как минимум вплоть до 2015 г. балобан гнезвился в 1,9–15,26 км пара от пары, в среднем ( $n=19$ ) в  $6,18 \pm 4,49$  км (рис. 4): 47,4% пар балобанов гнезилось в диапазоне от 2 до 4 км пара от пары, по периферии внутренних котловин Каратау, где его распределение было нормальным, а по внешней периферии гор и на чинках вид уже тогда гнезвился неравномерно. В 2022 г. никакой нормальности распределения балобанов уже не было на всей изучаемой территории – вид гнезвился совершенно случайно во всём комплексе гнездопригодных биотопов. Только 2 пары, причём успешные, были выявлены в одном ущелье недалеко от Жанатаса на дистанции 1,79 км друг от друга, а остальные были удалены на десятки км друг от друга, причём с минимальной вероятностью их пропуска на учётных площадках. В 2022 г. средняя дистанция между ближайшими соседями ( $n=5$ ) составила  $34,8 \pm 21,65$  км (1,79–56,03 км), увеличившись в 6 раз по сравнению с периодом до 2015 г.

Мы измерили дистанции от гнёзд балобана до ближайших ферм и гнёзд и точек регистрации пар беркутов, но не обнаружили какой-либо существенной разницы между таковыми в 2010 и в 2022 гг. (рис. 4). Дистанции от гнёзд балобана до ферм изменялись от 0,54–6,66 км, в среднем ( $n=39$ )  $2,61 \pm 1,46$  км в 2010 г., до 1,56–6,60 км, в среднем ( $n=9$ )  $2,78 \pm 1,61$  км в 2022 г., составив в среднем за весь период наблюдений ( $n=48$ )  $2,64 \pm 1,47$  км. Дистанции от гнёзд балобана до гнёзд и точек регистрации пар беркутов, за вычетом 9 дистанций в диапазоне от 21,01 до 41,28 км, на которых возможен пропуск беркутиных участков, изменялись от 0,1–8,75 км, в среднем ( $n=34$ )  $2,02 \pm 2,36$  км в 2010 г., до 0,14–4,04 км, в среднем ( $n=7$ )  $1,6 \pm 1,44$  км в 2022 г., составив в среднем за весь период наблюдений ( $n=41$ )  $1,95 \pm 2,22$  км. Можно предполагать некоторое сокращение дистанций между балобанами и беркутами в 2022 г. по сравнению с 2010 г., так как при лимите кормов хищники концентрировались вокруг жилых колоний песчанок и сусликов, но из-за малого количества наблюдений надёжность разницы невозможно доказать.

Таким образом, можно утверждать, что перераспределение гнёзд балобана относительно мест человеческой активности (фермы) и мест гнездования более крупных хищников (беркут) за последние 20 лет не произошло. Численность соколов

significant difference between those in 2010 and 2022 (Fig. 4). Distances from SF nests to farms ranged from 0.54–6.66 km, on average ( $n=39$ )  $2.61 \pm 1.46$  km in 2010, to 1.56–6.60 km, on average ( $n=9$ )  $2.78 \pm 1.61$  km in 2022, averaging ( $n=48$ )  $2.64 \pm 1.47$  km for the entire observation period. Distances from SF nests to nests and registration points of Golden Eagle pairs, minus 9 distances in the range from 21.01 to 41.28 km, where it is possible to miss Golden Eagle territories, varied from 0.1–8.75 km, on average ( $n=34$ )  $2.02 \pm 2.36$  km in 2010, up to 0.14–4.04 km, on average ( $n=7$ )  $1.6 \pm 1.44$  km in 2022, averaging at ( $n=41$ )  $1.95 \pm 2.22$  km over the entire observation period. We can suggest some reduction in distances between SF and Golden Eagles in 2022 compared to 2010, since the food limit makes raptors concentrate around colonies of gerbils and ground squirrels. But due to the small number of observations, the reliability of a difference cannot be proved.

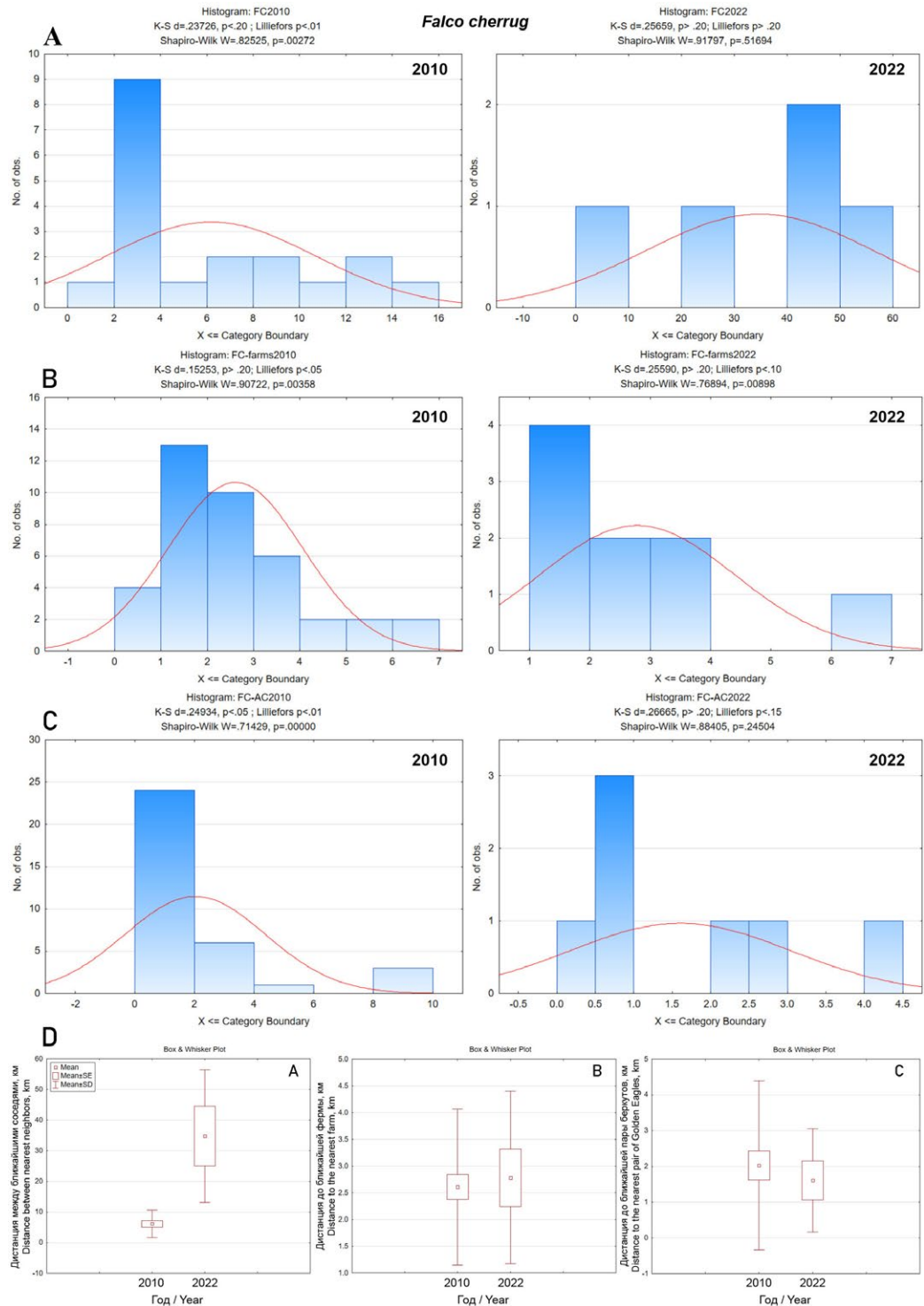
Thus, it can be argued that SF nest redistribution in relation to locations of human activity (farms) and breeding territories of larger raptors (Golden Eagle) has not occurred over the past 20 years. SF abundance has decreased, and there has been a complete collapse of species population grouping in the Karatau mountains.

In 2010, 27 SF nests were examined: 20 in the Karatau mountains and seven in the foothills (Karyakin *et al.*, 2010). Nesting elevation ranged 2–150 m, averaging  $36.85 \pm 37.75$  m (median 15 m), of them in the mountains – between 6–150 m, averaging  $47.25 \pm 38.80$  m (Fig. 5). Most of SF nests, 29.63% ( $n=27$ , Fig. 6) were built in Long-Legged Buzzard (*Buteo rufinus*) nests, 22.22% – in Egyptian Vulture nests, 18.52% – in Golden Eagle nests, 11.11% – in Common Raven (*Corvus corax*) nests, 3.70% – in Black Stork (*Ciconia nigra*) nests. 14.81% of nests were found in large niches in Eurasian Griffon colonies, probably in their nests. 74.07% of nests were built in niches, 18.52% – on shelves, and 7.41% – in crevices. In 74.07% of cases nests were located in the upper third of the rock, in 14.81% – in the lower third, and in 11.11% – in the middle (Fig. 7).

In the mountains, SF showed preference for niches located on the upper parts of rocks, while clearly avoiding nesting on shelves that were open from above there. Apparently, shelf nesting was caused by the niche limit, and in this case SF preferred the lower layer, thus probably avoiding the negative impact of bad weather conditions. On chinks SF nested in the height range between 2–11 m, on average

**Рис. 4.** Дистанции (в км): между ближайшими соседями балобана – А (слева – в 2010 г. и справа – в 2022 г.), от гнёзд балобана до ближайших ферм – В (слева – в 2010 г. и справа – в 2022 г.), от гнёзд балобана до гнёзд и точек регистрации пар беркутов (Aquila chrysaetos) – С (слева – в 2010 г. и справа – в 2022 г.), разница средних ( $M \pm SD$ ) вышеперечисленных дистанций в 2010 г. и 2022 г.

**Fig. 4.** Distances (in km): between nearest Saker Falcon neighbors – A (left – in 2010 and right – in 2022), distance from Saker Falcon nests to nearest farms – B (left – in 2010 and right – in 2022), from Saker Falcon nests to nests and registration points of Golden Eagle pairs (Aquila chrysaetos) – C (on the left – in 2010 and on the right – in 2022), difference in average ( $M \pm SD$ ) above the listed distances in 2010 and 2022 – D.

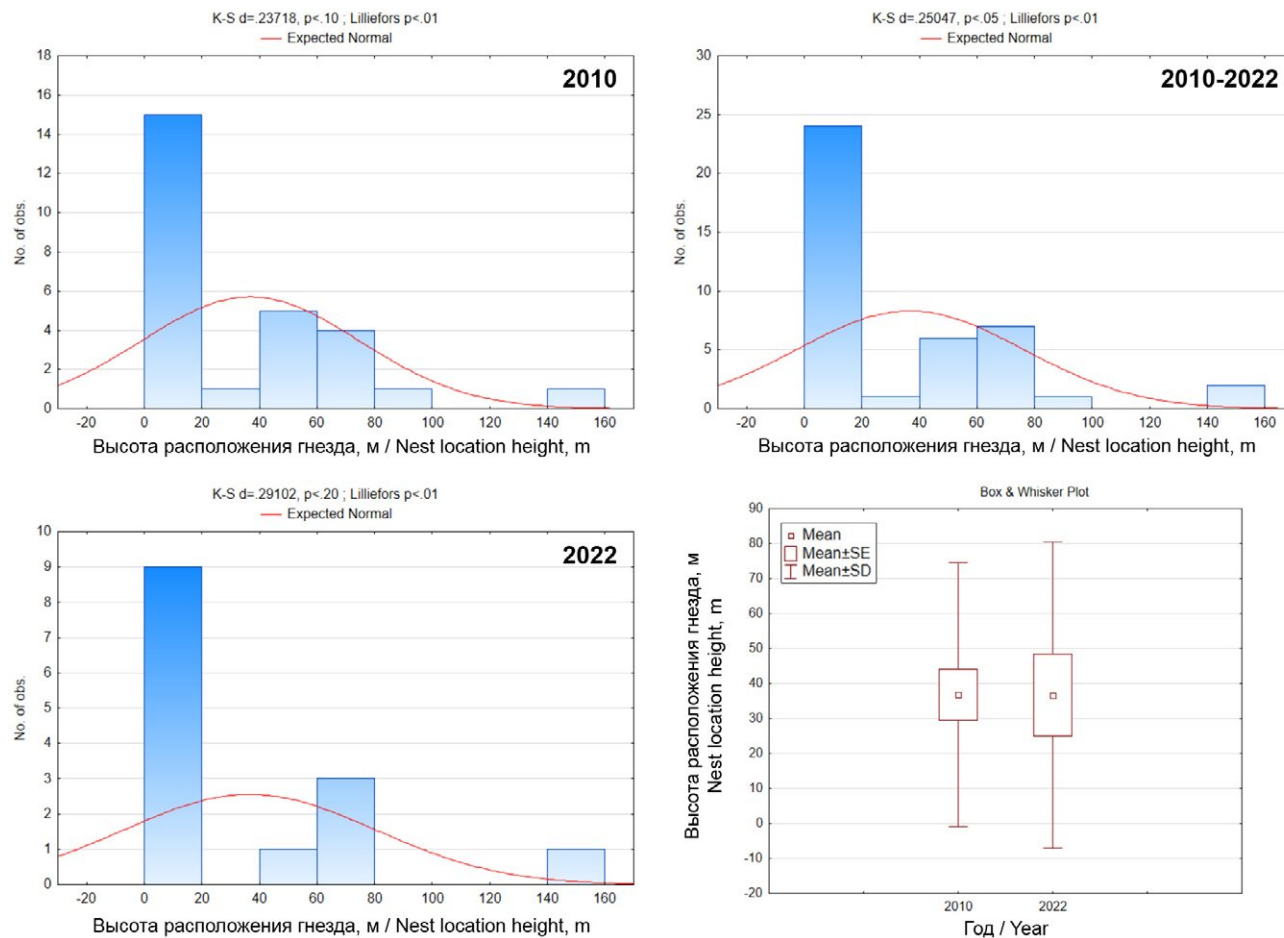


сократилась, и произошёл полный развал популяционной группировки этого вида в горах Каратау.

В 2010 г. было осмотрено 27 гнёзд балобана: 20 – в горах Каратау и 7 – на чинках предгорий (Карякин и др., 2010). Высота расположения гнёзд варьировала от 2 до 150 м, составляя в среднем  $36,85 \pm 37,75$  м (медиана 15 м), из них в горах – от 6 до 150 м, составляя в среднем  $47,25 \pm 38,80$  м (рис. 5). Большая часть гнёзд балобана, 29,63% ( $n=27$ , рис. 6),

at a height of  $7.14 \pm 4.06$  m. All seven nests were located in niches, mainly in the upper third of the cliffs (16.7%). The main nest supplier for SF was Egyptian Vulture here, SF nests were located in 57.14% of its old nests, and all of them laid within a 200-meter distance from the inhabited nests of the Egyptian Vulture. In 28.57% of cases, SFs occupied Long-Legged Buzzard nests in its residential areas, distancing themselves from this predator by 200–500 m. One nest was built without a niche, even though SF bred in the Egyptian Vulture terri-





была устроена в постройках курганника (*Buteo rufinus*), 22,22% – в постройках стервятника, 18,52% – в постройках беркута, 11,11% – в постройках ворона (*Corvus corax*), 3,70% – в постройках чёрного аиста (*Ciconia nigra*). 14,81% гнёзд были выявлены в крупных нишах в колониях белоголовых сипов, вероятно, в постройках сипов. В нишах было устроено 74,07% гнёзд, 18,52% – на полках и 7,41% – в расщелинах. В 74,07% случаев гнёзда располагались в верхней трети скалы, в 14,81% – в нижней трети и в 11,11% – в середине (рис. 7).

В горах балобан избегал гнездиться на открытых сверху полках в верхней части скал, но при этом явно избирал ниши, устроенные в верхней части скал. Видимо, гнездование на полках было вызвано лимитом ниш, и в этом случае балобан предпочитал нижний ярус, избегая тем самым, вероятно, негативного влияния плохих погодных условий. На чинках балобаны гнездились в диапазоне высот от 2 до 11 м, в среднем на высоте  $7,14 \pm 4,06$  м. Все 7 гнёзд располагались в нишах, преимущественно в верхней трети обрывов (16,7%). Основным поставщиком построек для балобана здесь являлся стервятник, в его

Рис. 5. Высота устройства гнёзд балобана на скалах в 2010 г. и 2022 г.

Fig. 5. Height of Saker Falcon nest locations on cliffs in 2010 and 2022.

то, where six old Egyptian Vulture and Long-Legged Buzzard nests and one active Egyptian Vulture nest were located within 100 m of the chink zone around the SF nest. The nearest Egyptian Vulture nest was six m away in the same line of niches with the SF nest (Karyakin et al., 2010).

In 2022, the situation stayed roughly the same with the only difference being that SF almost completely disappeared from the high mountains portion of central Karatau and stopped nesting within a colony of Eurasian Griffon, which, however, also almost completely disappeared from the surveyed area of Karatau by 2022. 15 SF nests were examined (including old nests): 13 in Karatau and two in the foothills. The nest height varied from 4 to 150 m, averaging ( $n=14$ )  $36.64 \pm 43.76$  m (median 13 m) (Fig. 5). 26.67% of SF nests ( $n=15$ , Fig. 6) were built in Long-Legged Buzzard, Egyptian Vulture, and Golden Eagle nests, 13.33% – in Black

старых гнёздах обнаружено 57,14% гнёзд балобана, причём все они лежали в пределах 200-метровой дистанции от жилых гнёзд стервятника. В 28,57% случаев балобаны занимали постройки курганника на его жилых участках, дистанцируясь от этого хищника на 200–500 м. Также одно гнездо было устроено без постройки в нише, хотя балобаны размножались на участке стервятника, где в пределах 100 м зоны чинка вокруг гнезда соколов располагались 6 старых построек стервятника и курганника и жилое гнездо стервятника. Ближайшая к гнезду балобана постройка стервятника находилась в 6-ти м в той же линии ниш, что и гнездо балобана (Карякин и др., 2010).

В 2022 г. принципиально ситуация не изменилась, с той лишь разницей, что балобан практически полностью выпал из высоких гор центральной части Каратау и прекратил гнездиться в колониях сипов, кото-

Stork nests, 6.67% (one old nest) – in Eurasian Griffon colony. No SF nests were discovered in Common Raven nests. 53.33% of nests were arranged in niches, and 46.67% – on shelves. In 80% of cases nests were located in the upper third of the rock and in 20% – in the middle (Fig. 7).

Overall 36 SF nests characteristics were collected (including old nests) in 2010 and 2022: 28 nests in the Karatau mountains and 8 nests on foothills. Nesting height ranged from 2 to 150 m, averaging  $34.11 \pm 36.32$  m ( $n=35$ ) (Fig. 5). 27.78% of SF nests ( $n=36$ , Fig. 6) were built in Long-Legged Buzzard nests, 25% – in Egyptian Vulture nests, 22.22% – in Golden Eagle nests, 11.11% – in Eurasian Griffon nests, 8.33% – in Common Raven Nests, 5.56% – in Black Stork nests. 63.89% of nests were built in niches, 30.56% – on shelves, and 5.56% – in crevices. In 72.22% of cases nests were located in the upper third of the rock, in 16.67% – in the middle, and in 11.11% – in the lower third (Fig. 7).

Thus, SF gravitates towards niches in the upper part of rock massifs in the mountains and foothills of Karatau and prefers to settle in the nests of Long-Legged Buzzard, Egyptian Vulture, and Golden Eagle, arranged exclusively on rocks. Despite the availability of a plentiful existing nests (Common Raven and Long-Legged Buzzard nests) on power transmission poles, cell towers, and in forest plantations along the entire periphery of Karatau, SF was not noted here in nests on trees and architectural structures by ornithologists (see Kovshar, 2019). We also did not find SF nests in trees and artificial structures in Karatau and adjacent territories.

In 2010, the Great Gerbil and Yellow Ground Squirrel were the baseline rodents in the study area, with gerbil dominating on the plateau-like uplands and Ground Squirrel – near farms in the valleys. In 2022 we were only able to identify three colonies of gerbils with a very limited number of several dozen active burrows, and four ground squirrel colonies, also consisting of several dozen active burrows. All six successful SF nests were found within a radius of 2 km from all gerbil colonies and two ground squirrel colonies, even though only the bird remains were identified among the prey during the inspection, mainly

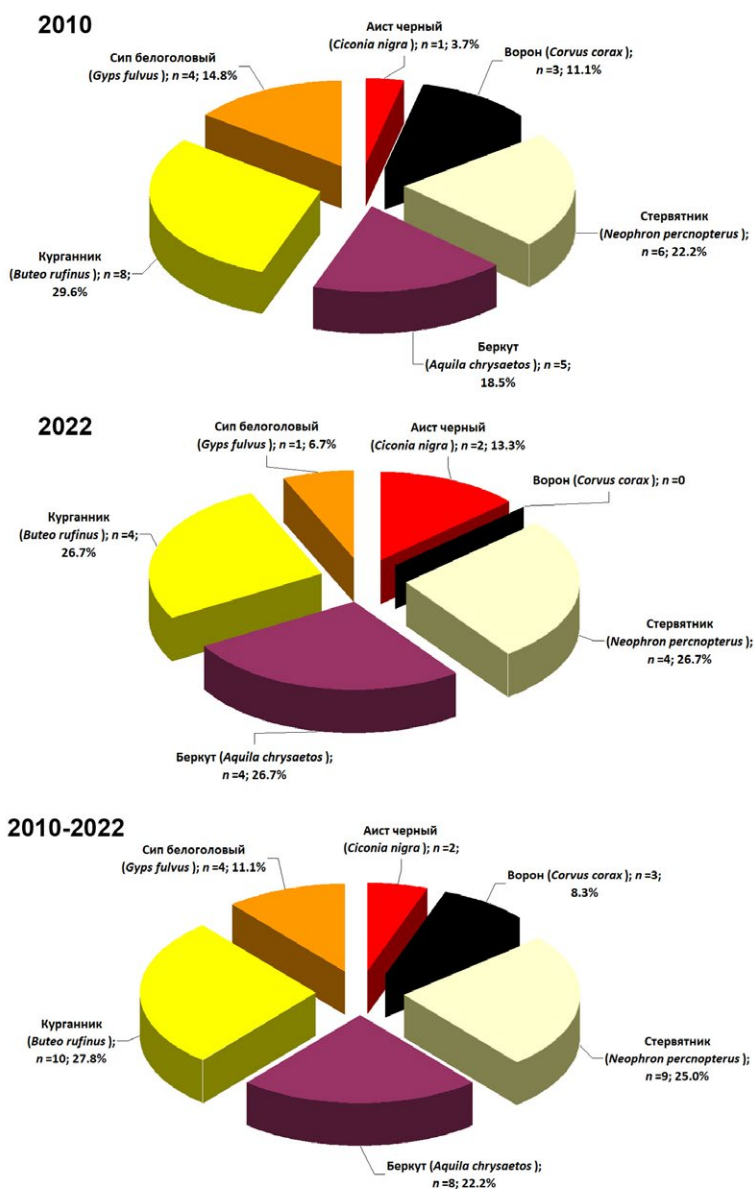
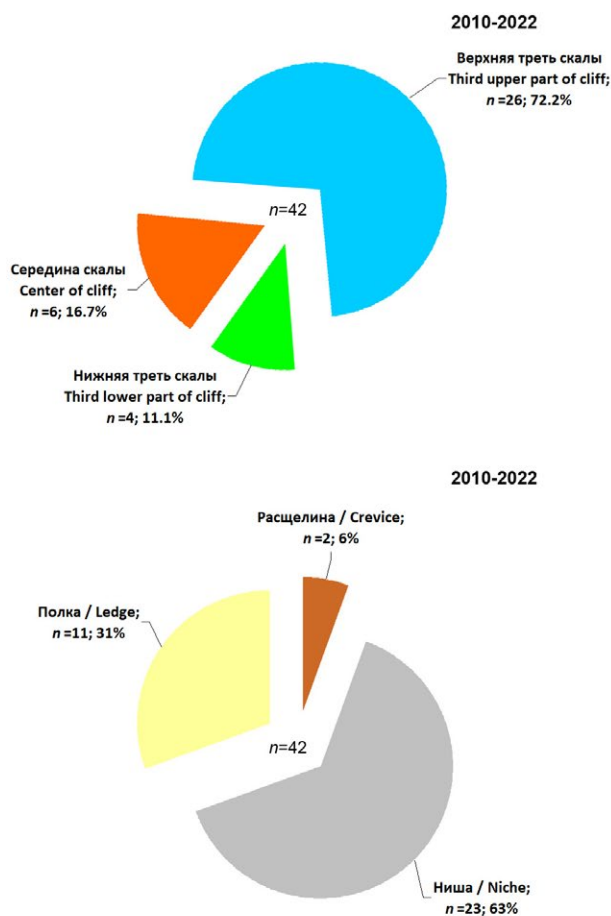
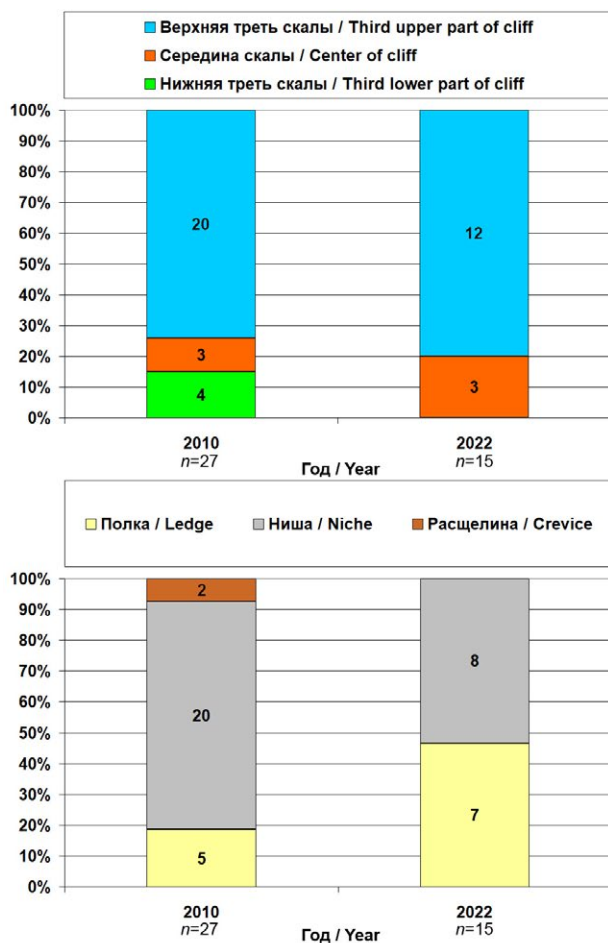


Рис. 6. Предыдущий хозяин гнездовых построек, занимаемых балобаном, в 2010 г. и 2022 г.

Fig. 6. Builder of nests occupied by Saker Falcon in 2010 and 2022.



рые впрочем тоже практически полностью исчезли на обследованной территории Каратау к 2022 г. Было осмотрено 15 гнезд балобана (включая старые гнезда): 13 – в горах Каратау и 2 – на чинках предгорий. Высота расположения гнезд варьировала от 4 до 150 м, составляя в среднем ( $n=14$ )  $36,64 \pm 43,76$  м (медиана 13 м) (рис. 5). По 26,67% гнезд балобана ( $n=15$ , рис. 6) были устроены в постройках курганника, стервятника и беркута, 13,33% – в постройках чёрного аиста, 6,67% (1 старое гнездо) – в колонии белоголовых сипов. Гнезд балобана в постройках ворона не было отмечено. В нишах было устроено 53,33% гнезд и 46,67% – на полках. В 80% случаев гнезда располагались в верхней трети скалы и в 20% – в середине (рис. 7).

В целом за 2010 и 2022 гг. собраны характеристики 36 гнезд балобана (включая старые гнезда): 28 – в горах Каратау и 8 – на чинках предгорий. Высота расположения гнезд варьировала от 2 до 150 м, составляя в среднем  $34,11 \pm 36,32$  м ( $n=35$ ) (рис. 5). В постройках курганника было устроено 27,78% гнезд балобана ( $n=36$ , рис. 6), в постройках стервятника – 25%, в постройках беркута – 22,22%, в колониях белоголовых сипов –

Рис. 7. Характер устройства гнезд балобана в горах Каратау в 2010 г. и 2022 г.

Fig. 7. Saker Falcon nest locations in Karatau Mountains in 2010 and 2022.

Eurasian Jackdaw (*Corvus monedula*), Chukar Partridge (*Alectoris chukar*), and Rosy Starling (*Sturnus roseus*).

Only two nests with nestlings were inspected in 2022 – there were four and five nestlings in them. A brood of 4 nestling was ringed with colored rings.

#### Habitat quality dynamics

Given the 59.09% decline in SF abundance in the Karatau from 2010 to 2022, it is important to understand how SF habitats changed. For this purpose, we analyzed the land cover area classified into 8 types in Dynamic World V1 (Brown *et al.*, 2022) on a macroenvironment scale (2 km around SF nests) for the period from 2017 (the beginning of a prolonged depression in rodent abundance) to 2022.

Over the six-year period, the water surface area of SF breeding territories decreased by 30.88%, from 0.48 km<sup>2</sup> in 2017 to 0.33 km<sup>2</sup>



11,11% , в постройках ворона – 8,33%, в постройках чёрного аиста – 5,56%. В нишах было устроено 63,89% гнёзд, 30,56% – на полках и 5,56% – в расщелинах. В верхней трети скалы располагались 72,22% гнёзд, 16,67% – в середине и 11,11% – в нижней трети (рис. 7).

Таким образом, в горах и предгорьях Каратау балобан тяготеет к нишам в верхней части скальных массивов и предпочитает селиться в гнёздах курганника, стервятника и беркута, устроенных исключительно на скалах. Несмотря на то, что по всей северной периферии Каратау на опорах ЛЭП, вышках сотовой связи и в древесных насаждениях имеется хороший для балобана гнездовой фонд (постройки ворона и курганника), балобан здесь на размножении в постройках на деревьях и искусственных сооружениях никем из орнитологов не отмечался (см. Ковшарь, 2019). Мы тоже не обнаружили гнёзд балобана на деревьях и искусственных сооружениях в Каратау и на прилегающих территориях.

В 2010 г. большая песчанка и жёлтый суслик были фоновыми грызунами на исследуемой территории, причём песчанка доминировала на платообразных возвышенностях, а суслик – около ферм в долинах. В 2022 г. нам в горах Каратау удалось выявить лишь 3 колонии песчанок, 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 всех колоний песчанки и 2 поселений сусликов были выявлены все 6 успешных гнёзд балобана, хотя на всех из них во время осмотра среди добычи удалось идентифицировать только остатки птиц, преимущественно гапок (*Corvus monedula*), кекликов (*Alectoris chukar*) и розовых скворцов (*Sturnus roseus*).

Только 2 гнезда с птенцами удалось осмотреть в 2022 г. – в них было 4 и 5 птенцов. Выводок из 4-х птенцов был окольцован цветными кольцами.

#### **Динамика качества местообитаний**

Учитывая сокращение численности балобана в Каратау на 59,09%, произошедшее за период с 2010 по 2022 гг., важно понимать, как изменились местообитания, в которых этот сокол обитал. С этой целью в масштабе макросреды (2 км вокруг гнёзд балобана) за период с 2017 (начало затяжной депрессии численности грызунов) по 2022 гг. мы проанализировали площадь покрытия земной поверхности, классифицированной на 8 типов в Dynamic World V1 (Brown *et al.*, 2022).

in 2022, and the area of woody vegetation decreased by 34.26%, from 0.74 km<sup>2</sup> in 2017 up to 0.49 km<sup>2</sup> in 2022. Area reduction affected territories covered with herbaceous vegetation (by 21.45% from 2.12 km<sup>2</sup> in 2017 to 1.66 km<sup>2</sup> in 2022) and shrubs (by 6.77% from 8.48 km<sup>2</sup> in 2017 to 7.9 km<sup>2</sup> in 2022), but all this is insignificant on the scale of breeding territories confined mainly to rocky massifs (Fig. 8). The open land area increased accordingly by 35.68%, from 4.84 km<sup>2</sup> in 2017 to 7.53 km<sup>2</sup> in 2022 (linear trend  $R^2=0.66$ ). This indicates that SF breeding territories, located at an average of 2.64 km from farms (see above), have increased grazing pressure following an increase in the number of livestock on nearby farms. This is rather a positive when distancing SFs from farms, as grazing helps to increase the availability of food for SF.

In summary, surface analysis in Dynamic World did not show any critical changes in the area of habitat types within SF breeding territories, which means that changes in habitats cannot be the reason for the decline in species abundance.

#### **Distribution modeling**

As shown by analysis of the average environmental variables for SF nests using the



Птенцы балобана в гнезде, устроенном в старой постройке чёрного аиста на скале в ущелье южного фаса Каратау. Фото Г. Пуликовой.

Saker Falcon nestlings in the nest in old nest construction of the Black Stork on cliff in the gorge of the southern face of Karatau ridge. Photo by G. Pulikova.



На гнездовых участках балобана за 6 лет площадь водной поверхности сократилась на 30,88%, с 0,48 км<sup>2</sup> в 2017 г. до 0,33 км<sup>2</sup> в 2022 г., а площадь древесной растительности – на 34,26%, с 0,74 км<sup>2</sup> в 2017 г. до 0,49 км<sup>2</sup> в 2022 г. Сокращение площадей коснулось территорий, покрытых травяной растительностью (на 21,45% с 2,12 км<sup>2</sup> в 2017 г. до 1,66 км<sup>2</sup> в 2022 г.) и кустарниками (на 6,77% с 8,48 км<sup>2</sup> в 2017 г. до 7,9 км<sup>2</sup> в 2022 г.), но всё это незначительно в масштабах гнездовых участков, приуроченных преимущественно к скальным массивам (рис. 8). Площадь открытой земли соответственно увеличилась на 35,68% с 4,84 км<sup>2</sup> в 2017 г. до 7,53 км<sup>2</sup> в 2022 г. (линейный тренд  $R^2=0,66$ ). Это указывает на то, что на гнездовых участках балобана, расположенных в среднем в 2,64 км от ферм (см. выше), увеличилась пастбищная нагрузка за счёт роста поголовья скота на близлежащих фермах. При дистанцировании балобана от ферм это скорее положительный, нежели отрицательный фактор, так как выпас способствует увеличению доступности пищи для соколов.

Таким образом, анализ поверхности в Dynamic World не показал каких-либо критичных изменений в площади типов местобитаний на гнездовых участках балобана, а значит, изменения в местобитаниях не могут являться причиной сокращения численности вида.

### Моделирование распространения

Как показал анализ средних значений переменных окружающей среды для гнёзд балобана посредством t-критерия Стьюдента, они значительно отличались от таковых случайных точек. Гнёзда располагались на более крутых склонах, в более пересеченной местности, на участках с большей скоростью и давлением ветра на высотах от 10 до 100 м, чем случайные точки. Что касается структуры растительности, то соколы гнездились в местах с меньшим процентом травостоя и кустов и большей долей открытого скала и голой земли, чем в случайных участках, где площади травостоя и кустарников, а также ежемесячные и среднелетние показатели усовершенствованного вегетационного индекса (EVI) были выше (табл. 2).

Для классификации изображений с целью моделирования распространения балобана методом Random Forest (RF) мы подобрали переменные для 4-х моделей (табл. 3, Приложение 1<sup>24</sup>):

– Модель 1 (M1) включает 66 переменных из 7 продуктов ДЗЗ<sup>24</sup> без учёта мультиколлинеарности и важности по t-критерию Стьюдента,

Student's t-test, they differed significantly in SF breeding territories from those of random points. Nests were located on steeper slopes, in more rugged terrain, in areas with greater wind speed and wind pressure at 10 to 100 m than random sites. As for the structure of vegetation, SFs nested in places with less herbage and shrubs and more open rock and bare ground than in random areas, where herbage and shrub area, as well as monthly and yearly average Improved Vegetation Index (EVI) values were higher (Table 2).

We selected variables for four models for image classification to model SF distribution using the Random Forest (RF) method (Table 3, Appendix 1<sup>24</sup>):

– Model 1 (M1) includes 66 variables from seven remote sensing products<sup>24</sup> without accounting for multicollinearity and importance according to Student's t-test,

– Model 2 (M2) includes 25 variables<sup>24</sup> important according to the Student's t-test for sampling presence points and random points without accounting for multicollinearity (i.e., there are variables correlated with each other in the sample),

– Model 3 (base model, M3) includes 25 variables<sup>24</sup>: 11 important variables by Student's t-test for presence points and random samples (multicollinear variables removed) + 14 unimportant but not correlated with important variables, except for elevation,

– Model 4 (M4) includes only 11 important variables<sup>24</sup> by Student's t-test for the sampling of presence points and random points.

Cross-validation showed the best probability and regression result for M1 (Table 4). Bagging error (Out-of-bag Error, OOBError) for 20 probability RF trees was 0.034, regression – 0.157.



Гнездовая скала балобанов в Каратау.  
Фото И. Карякина.

Nesting cliff of Saker Falcons in Karatau.  
Photo by I. Karyakin.

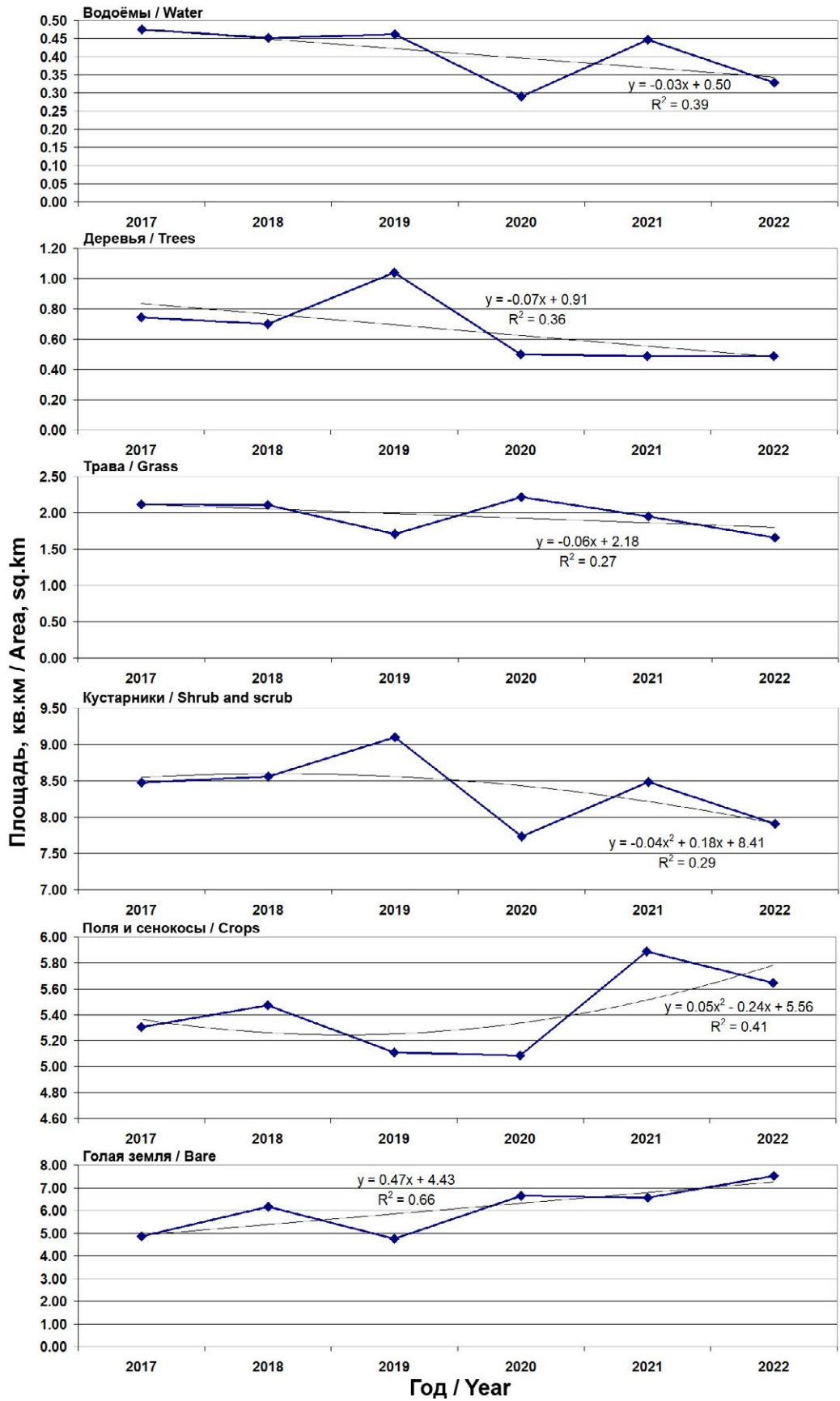


Рис. 8. Динамика площади различных биотопов на гнездовых участках балобана в радиусе 2 км от гнезда в 2017–2022 гг.

Fig. 8. Dynamics of various biotope areas in the Saker Falcon breeding territories within a radius of 2 km from nests in 2017–2022.

**Табл. 2.** Сравнение ( $M \pm SD$ , lim) между 41 переменной, определяющей качество среды для 53 гнёзд балобана и 53 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<sup>34</sup>.

**Table 2.** Comparison ( $M \pm SD$ , lim) between 41 environment quality variables for 53 Saker Falcon nests and 53 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<sup>34</sup> for variable codes.

Переменные* Variables*	Отличные от случайных Different from random	Включённые в базовую модель Included in base model		Случайные точки Random points	$t$ -value ( $df=104$ )	$p$
		Гнёзда Nests				
dist-neighb	1		16.7±20.35 (1.79–83.34)	10.8±5.3 (2.01–21.3)	2.0292	0.045
dist-A_chr	1		6.2±10.36 (0.1–41.28)	14.4±10.0 (1.2–44.53)	-4.1572	0.000
elevation		1	707.1±273.50 (351–1360)	675.6±254.6 (250–1355)	0.6135	0.541
cti	1	1	-2.6±1.78 (-4.28–+6.68)	-0.3±2.2 (-3.75–+4.93)	-5.8588	0.000
tri	1		26.3±15.13 (6.16–57.21)	7.5±8.4 (0.1–32.34)	7.9096	0.000
slope	1		16.5±9.70 (2.27–35.94)	5.0±5.5 (0.06–21.64)	7.4987	0.000
aspect		1	171.6±116.79 (2.69–349.44)	152.9±110.7 (0–355.4)	0.8494	0.398
vrn	1	1	0.012±0.01 (0–0.06)	0.003±0.01 (0–0.04)	4.5679	0.000
roughness	1	1	83.1±49.00 (17.27–190.14)	23.8±25.5 (0.34–102.03)	7.8185	0.000
tpi	1	1	4.2±10.94 (-12.03–+39.24)	0.3±4.3 (-22.78–+9.65)	2.4179	0.017
spi		1	0.31±1.37 (0.001–7.14)	0.02±0.04 (0.0004–0.2)	1.5516	0.124
geom	1	1	5.7±1.57 (3–9)	4.6±2.5 (1–9)	2.6927	0.008
cov	1	1	1183.8±485.71 (328–2463)	925.5±554.4 (217–3246)	2.5510	0.012
corr		1	2612.1±1339.00 (-107–+5543)	2011.1±1906.3 (-1913–+5305)	1.8781	0.063
maximum		1	1403.6±615.51 (601–4210)	1710.1±950.0 (672–4899)	-1.9712	0.051
mean	1	1	2273.3±548.80 (1266–4150)	2721.1±883.7 (1204–4669)	-3.1334	0.002
pielou		1	9263.1±330.69 (8345–9878)	9118.0±545.2 (6969–9761)	1.6562	0.101
simpson	1	1	8146.9±638.30 (6425–8971)	7770.8±1172.8 (4759–9044)	2.0509	0.043
wind_speed_50	1	1	6.8±1.64 (3.08–11.31)	5.9±1.8 (2.76–10.4)	2.4381	0.016
wind_speed_100	1		7.7±1.57 (3.57–11.64)	6.8±2.0 (3.29–10.55)	2.4256	0.017
wind_speed_10	1		5.3±1.99 (2.32–11.23)	4.4±1.7 (1.95–10.3)	2.4499	0.016
power_density_50	1		687.4±464.76 (161.6–2483.7)	485.9±382.3 (100.31–2372.58)	2.4373	0.016
power_density_100	1		822.4±449.47 (222.4–2334.7)	620.4±406.3 (125.04–2118.57)	2.4266	0.017
power_density_10	1		485.1±538.69 (31.7–2835.1)	265.2±377.5 (49.08–2658.5)	2.4332	0.017
RIX	1		0.1±0.08 (0–0.37)	0.034±0.1 (0–0.31)	2.7333	0.007
bio02		1	129.4±2.01 (126–133)	128.8±2.4 (123–133)	1.3308	0.186
bio03		1	28.9±0.87 (27–30)	29.0±0.8 (27–30)	-0.7938	0.429
bio06		1	-114.4±15.82 (-149–90)	-109.4±15.0 (-140–85)	-1.6644	0.099
bio16		1	109.0±29.06 (67–229)	120.4±42.2 (61–250)	-1.6176	0.109
Grass 2017-2022 2km	1		1.96±1.42 (0.02–7.2)	2.90±2.6 (0.01–9.25)	-2.3190	0.022
Shrub 2017-2022 2km	1		8.38±2.49 (0.91–11.6)	16.84±5.1 (10.06–29.65)	-10.8495	0.000
WorldCover_class		1	34.5±10.84 (30–60)	31.9±6.5 (30–60)	1.5199	0.132
Tree-100m		1	0.0009±0.004 (0–0.03)	0	1.4508	0.150
Shrub-100m		1	0.0047±0.01 (0–0.05)	0.0014±0.01 (0–0.05)	1.7112	0.090
Crop-100m		1	0.003±0.01 (0–0.09)	0.044±0.16 (0–0.87)	-1.8561	0.066
Bare-100m	1	1	0.1257±0.17 (0–0.79)	0.033±0.08 (0–0.39)	3.6462	0.000
EVI 04-2022	1	1	0.21±0.06 (0.08–0.40)	0.25±0.08 (0.09–0.39)	-2.5771	0.011
EVI 07-2022	1		0.12±0.03 (0.05–0.19)	0.14±0.04 (0.07–0.27)	-2.0241	0.046
EVI 08-2022	1		0.11±0.02 (0.06–0.15)	0.12±0.03 (0.07–0.23)	-2.1036	0.038
EVI 04-2022 100m	1		0.22±0.06 (0.08–0.40)	0.25±0.08 (0.09–0.39)	-2.3360	0.021

**Примечания / Notes:**

\* Расшифровка сокращений и описание переменных доступны в Приложении 1<sup>34</sup> / Breakdown of abbreviations and description of variables is available in Appendix 1<sup>34</sup>

– Модель 2 (M2) включает 25 переменных<sup>24</sup>, важных по t-критерию Стьюдента для выборки точек присутствия и случайных без учёта мультиколлинеарности (т.е. в выборке присутствуют коррелирующие друг с другом переменные),

– Модель 3 (базовая модель, M3) включает 25 переменных<sup>24</sup>: 11 важных переменных по t-критерию Стьюдента для выборки точек присутствия и случайных (мультиколлинеарные переменные удалены) + 14 неважных, но не коррелирующих с важными, за исключением elevation,

– Модель 4 (M4) включает только 11 важных переменных<sup>24</sup> по t-критерию Стьюдента для выборки точек присутствия и случайных.

Перекры́стная проверка показала лучший результат вероятности и регрессии для M1 (табл. 4). Ошибка бэггинга (Out-of-bag Error, ООБЕ) для 20 деревьев RF вероятности составила 0,034, регрессии – 0,157.

Графики важности переменных, включённых в RF для вероятности и регрессии, показаны на рисунке 9. Из 66 переменных M1 в результирующую модель включены 54 переменных для «RF вероятность» и 61 – для «RF регрессия». Наиболее важными переменными для M1 «RF вероятность» (> 0,7) оказались (в порядке убывания важности) 14 переменных: slope (1,57), bio18 (1,55), bio15 (1,54), vrm (1,46), bio05 (1,28), bio09 (1,2), bio02 (1,19), bio13 (1,02), bio08 (0,99), bio04 (0,97), bio17 (0,92), bio01 (0,89), EVI mean may (0,82), roughness (0,79), для M1 «RF регрессия» (> 52,0) – 15 переменных: bio18 (103,98), bio13 (86,88), bio07 (80,15), roughness (79,84), bio10 (77,7), bio16 (72,47), geom (70,83), wind speed 50 (69,21), wind speed 100 (69,12), bio04 (61,2), sd (61,05), uniformity (57), homogeneity (55,45), air density 50 (53,41), slope (52,01). Примечательно, что в RF важными для точек присутствия балобана оказались биоклиматические переменные, не показавшие разницы между точками присутствия и случайными точками по t-критерию Стьюдента.

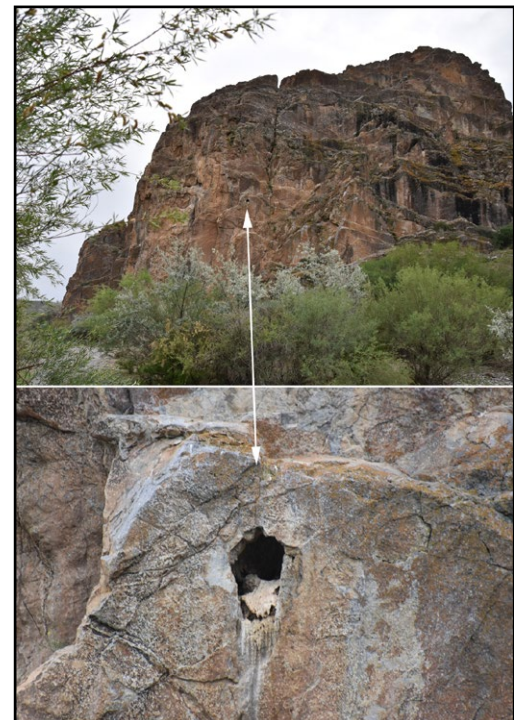
Графики регрессии по обучающей и тренировочной выборкам и оценки точности модели посредством AUC-ROC для вероятности и регрессии RF показаны на рисунке 10.

Мы усреднили результаты RF вероятности и регрессии и вывели результирующий растр для M1 по вероятности присутствия балобана в диапазоне от 50 до 100% (рис. 11, Приложение 2<sup>36</sup>). Площадь гнездопригодных для балобана биотопов

Graphs of the variables' importance included in RF for probability and regression are shown in Fig. 9. Of the 66 M1 variables, the resulting model includes 54 variables for "RF Probability" and 61 for "RF Regression". 14 variables were the most important for M1 "RF probability" (>0.7) (in descending order of importance): slope (1.57), bio18 (1.55), bio15 (1.54), vrm (1.46), bio05 (1.28), bio09 (1.2), bio02 (1.19), bio13 (1.02), bio08 (0.99), bio04 (0.97), bio17 (0.92), bio01 (0.89), EVI mean may (0.82), and roughness (0.79). 15 variables were the most important for M1 "RF regression": bio18 (103.98), bio13 (86.88), bio07 (80.15), roughness (79.84), bio10 (77.7), bio16 (72.47), geom (70.83), wind speed 50 (69.21), wind speed 100 (69.12), bio04 (61.2), sd (61.05), uniformity (57), homogeneity (55.45), air density 50 (53.41), and slope (52.01). It is noteworthy that in RF bioclimatic variables turned out to be important for SF presence points, even though they did not show a difference between presence points and random points according to Student's t-test.

Regression graphs for learning and training samples and estimation of model accuracy by means of AUC-ROC for RF are shown in Fig. 10.

We averaged RF probability and regression results and generated the resulting raster for M1 with a SF presence probability in the



Многолетнее гнездо балобана в нише скалы.  
Фото И. Карякина.

Perennial nest of the Saker Falcon in niche of cliff.  
Photo by I. Karyakin.

<sup>36</sup> <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2022/12/App2-mapsFC.zip>



Табл. 3. Список переменных, включённых в 4 набора для моделирования распространения балобана в горах Каратау.

Table 3. List of variables included in 4 sets for modeling Saker Falcon distribution of the Karatau mountains.

Переменные Variables	Вариант модели / Model variant				Переменные Variables	Вариант модели / Model variant			
	1 66 var.	2 25 var.	3 25 var.	4 11 var.		1 66 var.	2 25 var.	3 25 var.	4 11 var.
<b>NASADEM</b>					<b>World Clim</b>				
elevation	1		1		bio01	1			
<b>Geomorpho90m</b>					bio02	1		1	
cti	1	1	1	1	bio03	1		1	
tri	1	1			bio04	1			
slope	1	1			bio05	1			
aspect	1		1		bio06	1		1	
vrn	1	1	1	1	bio07	1			
roughness	1	1	1	1	bio08	1			
tpi	1	1	1	1	bio09	1			
spi	1		1		bio10	1			
geom	1	1	1	1	bio11	1			
<b>Global Habitat Heterogeneity</b>					bio12	1			
cov	1	1	1	1	bio13	1			
contrast	1				bio14	1			
corr	1		1		bio15	1			
dissimilarity	1				bio16	1		1	
entropy	1				bio17	1			
homogeneity	1				bio18	1			
maximum	1		1		bio19	1			
mean	1	1	1	1	<b>ESA WorldCover 10m v100</b>				
pielou	1		1		WC_class	1		1	
range	1				WC_r_Tree-100m	1		1	
shannon	1				WC_Shruh-100m	1		1	
simpson	1	1	1	1	WC_Grass-100m	1			
sd	1				WC_Crop-100m	1		1	
uniformity	1				WC_Bare-100m	1	1	1	1
variance	1				<b>MODIS Terra Vegetation Indices</b>				
<b>Global Wind Atlas</b>					NDVI_04-2022	1	1	1	1
air_density_50	1	1			NDVI_05-2022	1			
air_density_100	1	1			NDVI_06-2022	1			
air_density_10	1	1			NDVI_07-2022	1	1		
wind_speed_50	1	1	1	1	NDVI_08-2022	1	1		
wind_speed_100	1	1			<b>MODIS Terra Vegetation Indices</b>				
wind_speed_10	1	1			EVI_04-2022-100m	1	1		
power_density_50	1	1			<b>Метод / Method in Random Forest:</b>				
power_density_100	1	1			Вероятность / Probability	yes	yes	yes	yes
power_density_10	1	1			Регрессия / Regression	yes	yes	yes	yes
RIX	1	1							

**Примечания / Notes:**

\* Расшифровка сокращений и описание переменных доступны в Приложении 1<sup>13</sup> / Breakdown of abbreviations and description of variables is available in Appendix 1<sup>13</sup>)

согласно этому классифицированному изображению составила 7600,76 км<sup>2</sup>, площадь местообитаний – 22710,75 км<sup>2</sup> (рис. 11). Однако полевые исследования показали избыточные площади биотопов, отнесён-

range of 50 to 100% (Fig. 11, Appendix 2<sup>36</sup>). According to this classified image, the area of biotopes suitable for SF breeding totaled 7,600.76 km<sup>2</sup>, habitat area – 22,710.75 km<sup>2</sup> (Fig. 11). However, field research showed

Табл. 4. Результаты кросс-валидации моделей. Жирным шрифтом выделены лучшие модели для вероятности и регрессии.

Table 4. Results of model cross-validation. Bold indicates best models for probability and regression.

Код модели Model code	Коэффициент детерминации регрессии по обучающей выборке Training regression R2	Коэффициент детерминации регрессии по тестовой выборке Validation regression R2	Max Kappa	Max Kappa Cutoff	Max ccr	Max ccr cutoff
<i>Вероятность / Probability</i>						
<b>M1_PROB</b>	<b>0.996</b>	<b>0.911</b>	<b>0.795</b>	<b>0.955</b>	<b>37.083</b>	<b>0.988</b>
M2_PROB	0.993	0.887	0.761	0.935	39.167	0.984
M3_PROB	0.988	0.900	0.777	0.931	37.500	0.982
M4_PROB	0.977	0.836	0.650	0.841	41.667	0.965
<i>Регрессия / Regression</i>						
<b>M1_REGR</b>	<b>0.995</b>	<b>0.929</b>	<b>0.793</b>	<b>0.938</b>	<b>35.000</b>	<b>0.984</b>
M2_REGR	0.984	0.909	0.777	0.929	42.917	0.982
M3_REGR	0.978	0.916	0.792	0.930	35.417	0.982
M4_REGR	0.976	0.867	0.678	0.834	43.750	0.965

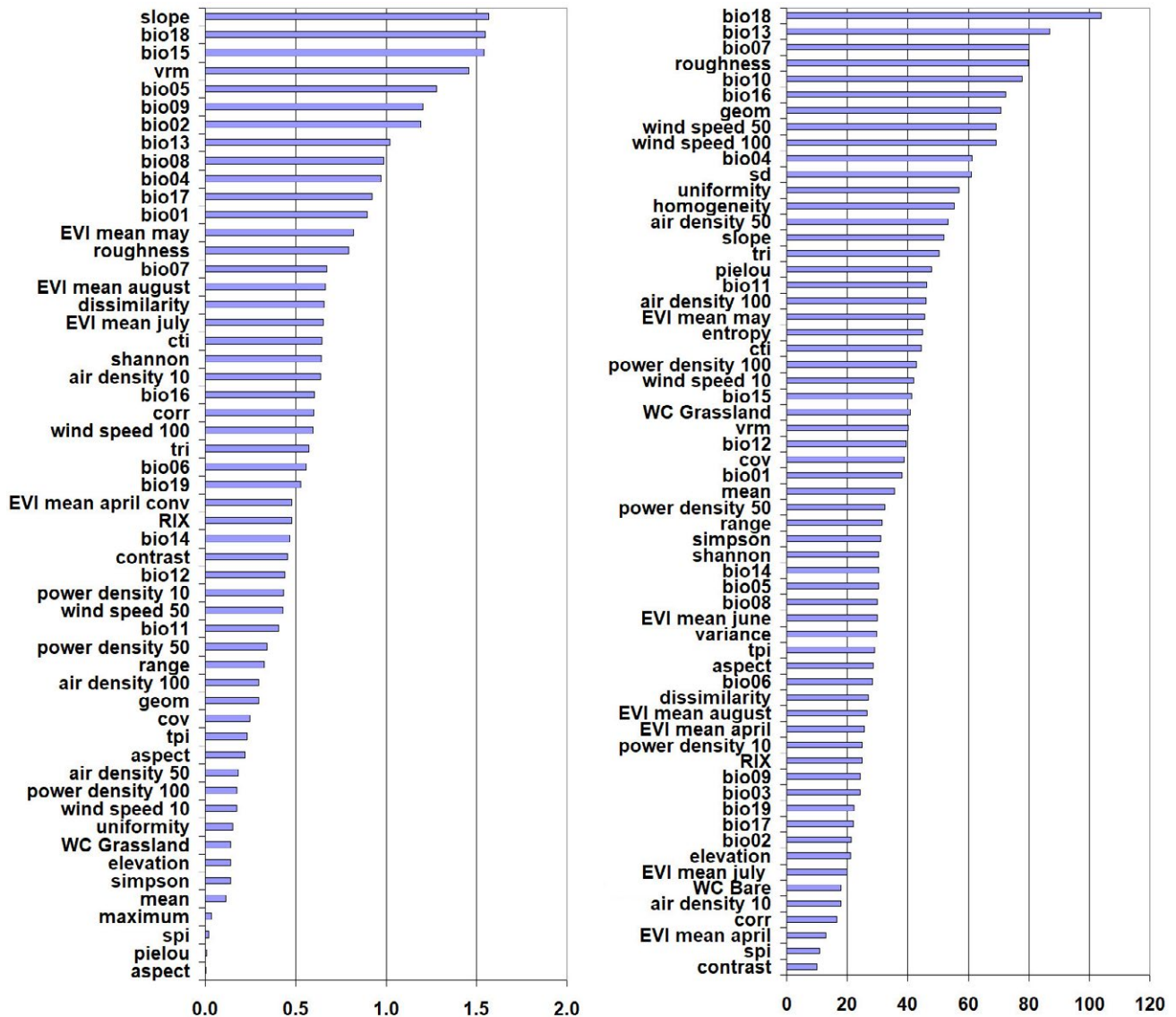


Рис. 9. Оценка важности переменных в Random Forest для модели 1 (M1).

Fig. 9. Estimating the importance of variables in Random Forest for Model 1 (M1).

ных к гнездопригодным в результате моделирования, за счёт включения большого количества скальных обнажений в осевой части хребтов, в то время как балобан внутри горных массивов был сосредоточен на гнездовании только по периферии степных долин. В связи с этим мы выбрали в гнездопригодные для балобана биотопы только те кластеры классифицированного изображения, которые попали в 3-х километровую буферную зону степных долин. Итоговая площадь гнездопригодных для балобана биотопов после этой операции составила 4222,64 км<sup>2</sup>, площадь местообитаний – 9084,3 км<sup>2</sup>. Именно эти цифры мы использовали в дальнейших расчётах численности балобана на гнездовании в Каратау и на прилегающих территориях.

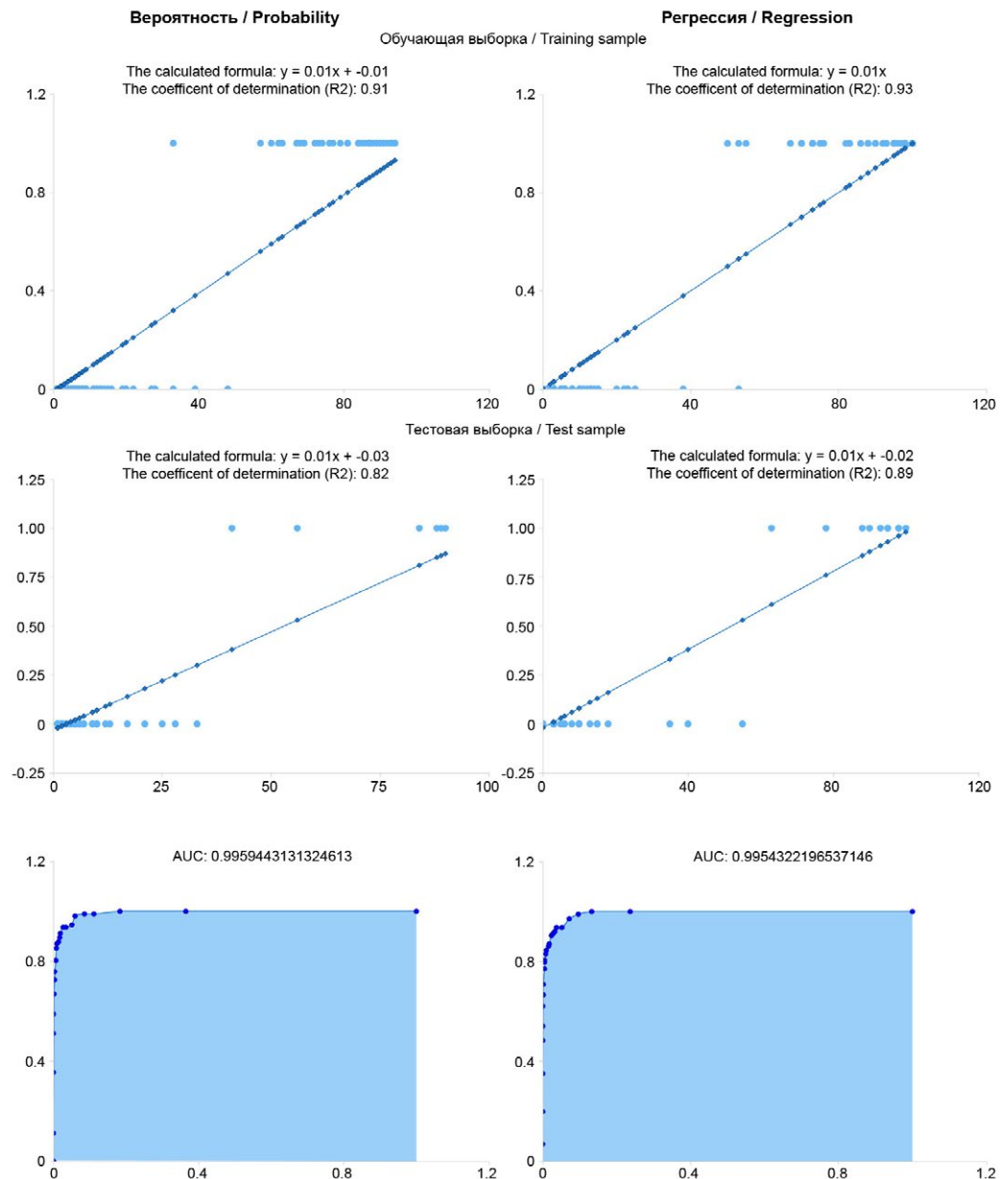
Матрица весов для теста Морана была рассчитана по 5 ближайшим соседям для

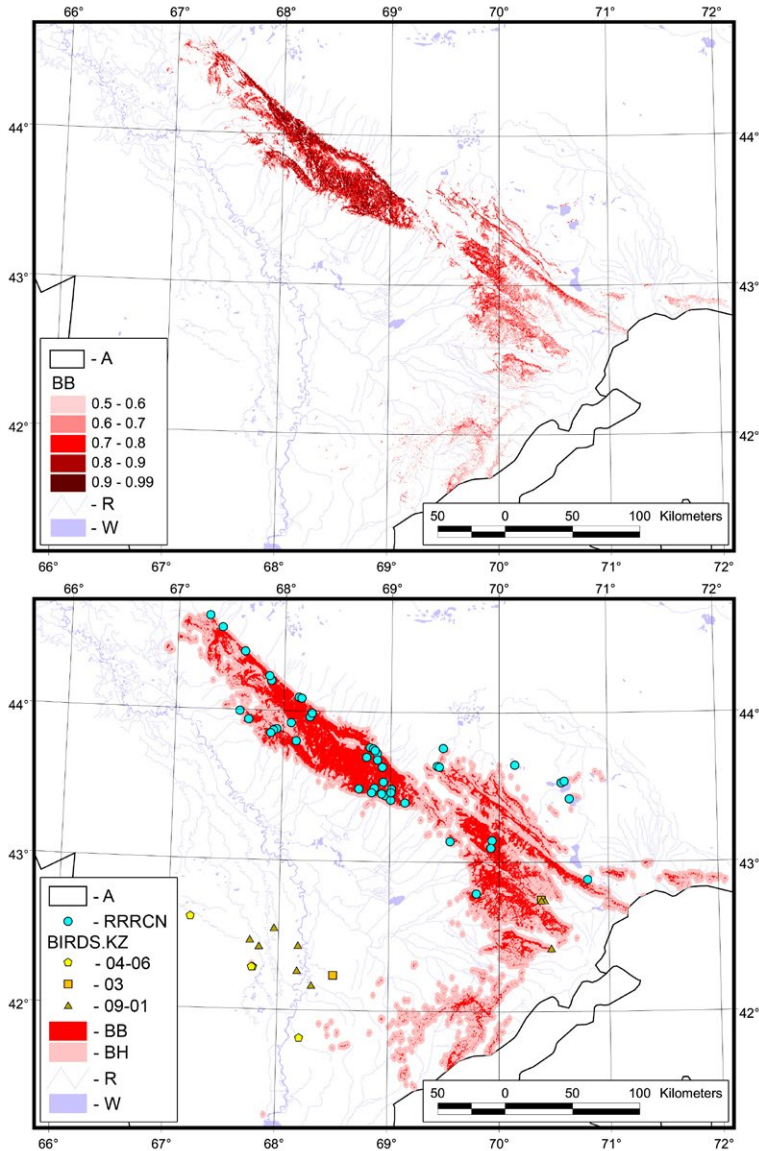
excessive areas of biotopes classified as suitable for breeding as a result of modeling due to the inclusion of a large number of rocky outcrops in the axial part of the ridges, while SF within the mountain ranges was concentrated on nesting only along the periphery of the steppe valleys. Because of this, we selected only those clusters of the classified image that fell into the three km buffer zone steppe valleys into SF habitats. The total area of SF breeding biotopes after this selection amounted to 4,222.64 km<sup>2</sup>, the area of habitats – 9,084.3 km<sup>2</sup>. These numbers were used in further calculation of an abundance of SF breeding in Karatau and adjacent territories.

The weight matrix for the Moran's test was calculated from the five nearest neighbors for SF points of presence used for modeling. The Moran's index (Moran I ( $M \pm SD$ ))  $0.2 \pm 3.29$ , expectation -0.014, variance 0.0044,  $p$ -value

**Рис. 10.** Графики регрессии по обучающей и тренировочной выборкам и оценки точности модели посредством AUC-ROC для вероятности и регрессии Random Forest.

**Fig. 10.** Graphs of regression on learning and training samples and estimates of model accuracy by AUC-ROC for probability and regression of Random Forest.





**Рис. 11.** Гнездопригодные для балобана биотопы в Каратау и на прилегающих территориях, выделенные по результатам анализа в Random Forest – усреднённый результат по вероятности и регрессии (вверху) и точки распределения балобана, взятые из разных источников, на карте местообитаний и гнездопригодных биотопов (внизу). Условные обозначения: А – границы стран; BB – гнездопригодные биотопы, ранжированные по вероятности присутствия вида (вверху) и не ранжированные (внизу); BH – местообитания; точки присутствия балобана: RRRCN – гнездовые участки, по которым осуществлялось моделирование распространения вида, BIRDS.KZ – данные любителей птиц о встречах балобана с сайта Казахстанского сообщества наблюдателей птиц, ранжированные по сезону; R – реки; W – водоёмы.

**Fig. 11.** Saker Falcon breeding biotopes in Karatau and adjacent areas identified from Random Forest analysis – average of probability and regression (at top) and map of breeding biotopes, habitats and Saker Falcon distribution points taken from various sources (at bottom). Legend: A – country borders, BB – breeding biotopes, ranked by probability of species presence; BH – habitats; points of Saker Falcon presence: RRRCN – breeding territories on the basis which Saker Falcon distribution was modeled, BIRDS.KZ – birdwatcher data on Saker Falcon records from Kazakhstan birdwatching community website; Key: R – rivers; W – water bodies.

точек присутствия балобана, по которым строилась модель. Индекс Морана (Moran I ( $M \pm SD$ )  $0,2 \pm 3,29$ , expectation  $-0,014$ , variance  $0,0044$ ,  $p$ -value =  $0,0005$ ) показал, что географические расстояния между точками присутствия балобана и предсказанными значениями модели его распространения не случайны в положительную сторону, но в то же время не выявил существенной автокорреляции (рис. 12).

#### Расчёт численности

В 2010 г. плотность балобана для горных массивов Боралдая и Малого Каратау была определена в  $0,92$  пар/100 км<sup>2</sup> для недавнего прошлого и  $0,46$  пар/100 км<sup>2</sup> для периода обследования территории (с учётом покинутых балобанами гнездовых участков). Для Боралдая и юго-запада Малого Каратау (за вычетом площадки на северном фасе Малого Каратау) плотность была определена в  $1,12$  и  $0,56$  пар/100 км<sup>2</sup> соответственно. Плотность

=  $0,0005$ ) showed that geographical distances between the points of SF presence and the predicted values of its distribution model are not random in a positive direction, but at the same time did not reveal a significant autocorrelation (Fig. 12).

#### Calculating abundance

In 2010, SF density for the Boraldai and Lesser Karatau mountain ranges was determined to be  $0.92$  pairs/100 km<sup>2</sup> for the recent past and  $0.46$  pairs/100 km<sup>2</sup> at the time of the survey (including abandoned breeding territories). For the Boraldai and southwest of Lesser Karatau (minus the plot on the northern face of Lesser Karatau), density was determined to be  $1.12$  and  $0.56$  pairs/100 km<sup>2</sup>, respectively. SF breeding territories density in Greater Karatau was  $2.46$  pairs/100 km<sup>2</sup> for the recent past and  $2.37$  pairs/100 km<sup>2</sup> for the survey period (Karyakin *et al.*, 2010). SF and traces of its presence were not found on chinks of Ulken-Buuryltau in 2010. But on chinks of lakes Sorkol, Ashikkol, and Akkol, SF abundance was  $1.18$ – $3.12$  pairs/10 km, on average  $1.92$  pairs/10 km of chinks (Karyakin *et al.*, 2010).

Direct extrapolation of average density and asymmetric confidence interval of SF breeding territories on plots to the total habitat area gave an estimate of species abundance in 2010 for Boraldai and Lesser Karatau ( $1,611.7$  km<sup>2</sup>) at 3–30, with an average



гнездовых участков балобанов в Большом Каратау составила 2,46 пар/100 км<sup>2</sup> для недавнего прошлого и 2,37 пар/100 км<sup>2</sup> для периода обследования территории (Карякин и др., 2010). На чинках Улькень-Буурылтау в 2010 г. балобана найти не удалось, как и следов его пребывания. Но на чинках озёр Сорколь, Ашикколь и Акколь обилие балобана составило 1,18–3,12 пар/10 км, в среднем 1,92 пар/10 км чинков (Карякин и др., 2010).

Прямая экстраполяция средней плотности и несимметричного доверительного интервала гнездовых участков балобана на площадках на общую площадь местообитаний дала оценку численности этого вида в 2010 г. для Боралдая и Малого Каратау (1611,7 км<sup>2</sup>) в 3–30, в среднем 9 пар (5–61, в среднем 18 пар в прошлом, с учётом покинутых соколами гнездовых участков) и для гранитных массивов и ущелий основной части Каратау (4252,4 км<sup>2</sup>) – 72–140, в среднем 101 пару. Численность балобана на чинках (146,12 км) в ходе прямого пересчёта с маршрутов оценена в 17–46, в среднем 28 пар (Карякин и др., 2010).

Суммирование оценок численности балобана на гнездовании в Боралдае, Малом и Большом Каратау, полученных по результатам экстраполяции плотности с площадок, а также оценок численности для чинков, полученных путём прямого пересчёта с маршрутов вдоль чинков, позволило предположить, что в исследованной в 2010 г. части Каратау и чинках может гнездиться от 92 до 216, в среднем 138 пар балобанов (Карякин и др., 2010).

Построение схемы потенциальных гнездовых участков по средней дистанции



Балобан. Фото И. Карякина.

Saker Falcon. Photo by I. Karyakin.

of nine pairs (5–61, an average of 18 pairs in the past, taking into account abandoned breeding territories) and for granite massifs and gorges of the main part of Karatau (4,252.4 km<sup>2</sup>) – 72–140, an average of 101 pairs. SF abundance on chinks (146.12 km) was estimated at 17–46, on average 28 pairs, as a result of the direct recalculation from routes (Karyakin et al., 2010).

Summation of estimates of the number of SF breeding in Boraldai and Lesser and Greater Karatau based on the results of density extrapolation from plots, as well as of abundance on chinks obtained by direct recalculation from routes along the chinks, made it possible to assume that from 92 to 216 pairs and an average 138 SF pairs can nest in this part of Karatau and chinks studied in 2010 (Karyakin et al., 2010).

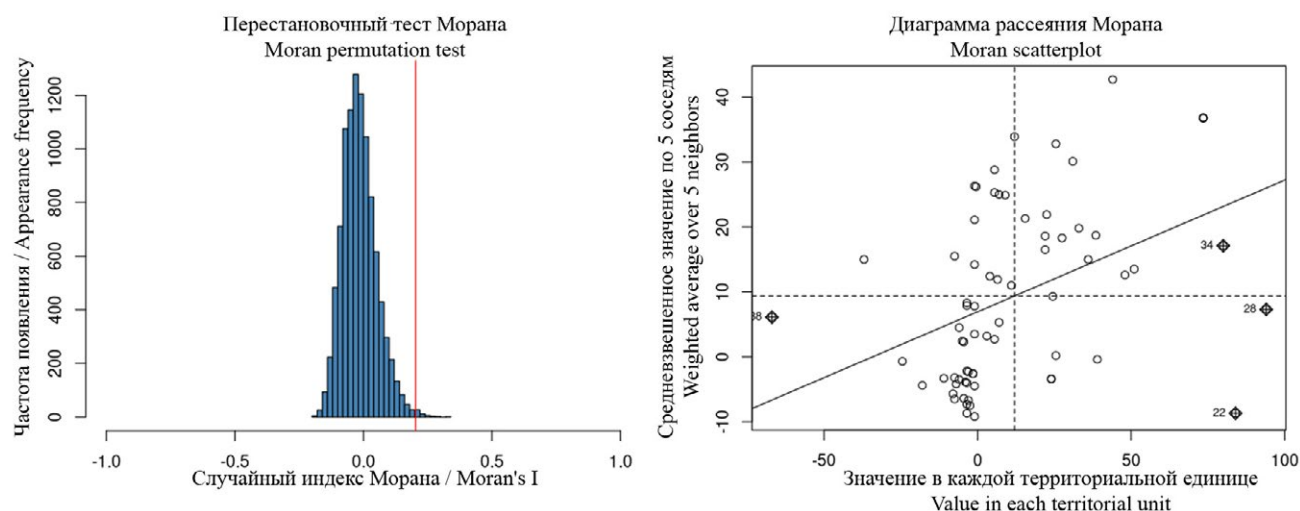


Рис. 12. Диаграмма перестановочного теста Морана (слева) и диаграмма рассеяния Морана для точек присутствия балобана и предсказанных значений модели (справа).

Fig. 12. Permutation plot of Moran's test (left) and Moran's scatterplot for Saker Falcon presence points and model predicted values (right).

между соседями дало для основной части Каратау в 2010 г. 85–105 гнездовых участков. За счёт этого, численность балобана для рассматриваемой территории была сужена до 105–181, в среднем 138 пар (Карякин и др., 2010).

Поскольку даже на протяжённых чинках гнезилось не более 2-х пар балобанов, были отфильтрованы избыточные точки потенциальных гнездовых участков на чинках, и численность балобана для чинковой зоны была оценена в 17–25 пар, в среднем 21 пару (Карякин и др., 2010).

Таким образом, по результатам исследований 2010 г. скорректированная оценка численности балобана только для гор Малого и Большого Каратау и чинкой зоны северного макросклона Каратау, без территорий, прилегающих к Каратау с юга от границы с Узбекистаном и без периферии Таласского Алатау, была определена в 105–145 пар, в среднем 125 пар (Карякин и др., 2010). Эта оценка учитывала опустевшие по причине нелегального отлова гнездовые участки балобана, сосредоточенные преимущественно вдоль дорог и вокруг городов.

Учитывая то, что доля успешных гнёзд балобана от числа занятых в 2010 г. составила 60%, численность успешных пар в регионе на период начала выкармливания выводков была определена в 63–87, в среднем 75 пар (Карякин и др., 2010).

В 2022 г. мы пересчитали численность балобана на 2010 г. для всей площади исследуемого экстенда (см. методику), который включает останцы левобережья р. Сырдарья, Казгурт, Дарбазу, периферию Таласского Алатау, весь Каратау и чинки северной подгорной равнины (площадь местообитаний – 9084,3 км<sup>2</sup>, площадь гнездопригодных биотопов – 4222,64 км<sup>2</sup>).

Площади гнездопригодных биотопов и местообитаний балобана на площадках визуализированы на рисунке 13, результаты площадочных учётов отражены в таблицах 5–7, оценка численности разными методами показана в таблице 8.

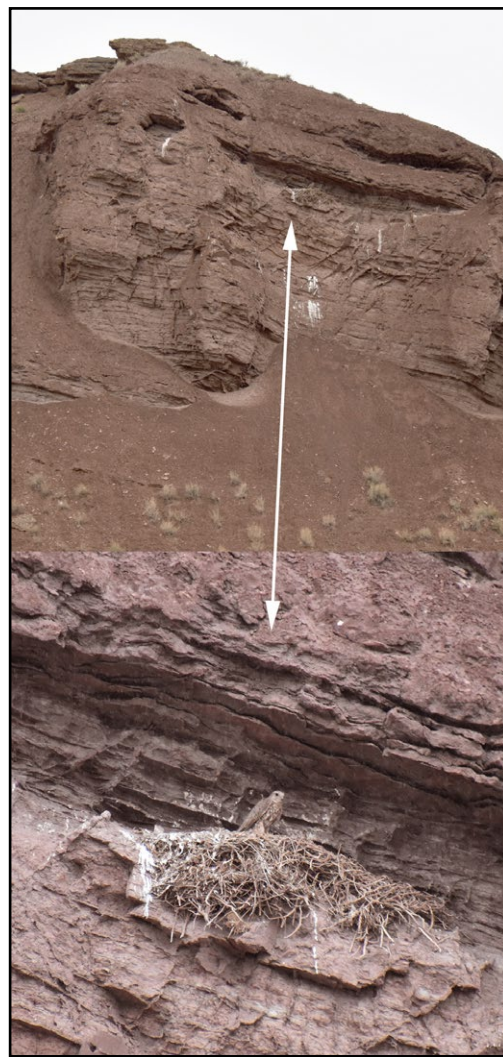
Плотность гнездования балобана в 2010 г. на площадках, с учётом площадок, на которых вид не был обнаружен (далее «нулевые» площадки), и подгорной равнины с чинками, составила ( $M \pm SE$ ) 1,51 ± 0,36 пары/100 км<sup>2</sup>, в том числе в местообитаниях на площадках – 2,23 ± 0,22 пары/100 км<sup>2</sup> и в гнездопригодных биотопах на площадках – 4,78 ± 0,35 пары/100 км<sup>2</sup>.

Экстраполяция плотности занятых гнездовых участков балобана в местообитаниях на площадках (с учётом «нулевых» пло-

Constructing a scheme of potential breeding territories based on an average distance between neighbors gave 85–105 breeding territories for the main part of the Karatau in 2010. Due to this, SF abundance for the study area was narrowed to 105–181, 138 pairs on average (Karyakin *et al.*, 2010).

Since no more than two SF pairs nested even on extended chinks, excess points were filtered out, and SF abundance for the chinks zone was estimated at 17–25 pairs, 21 pairs on average (Karyakin *et al.*, 2010).

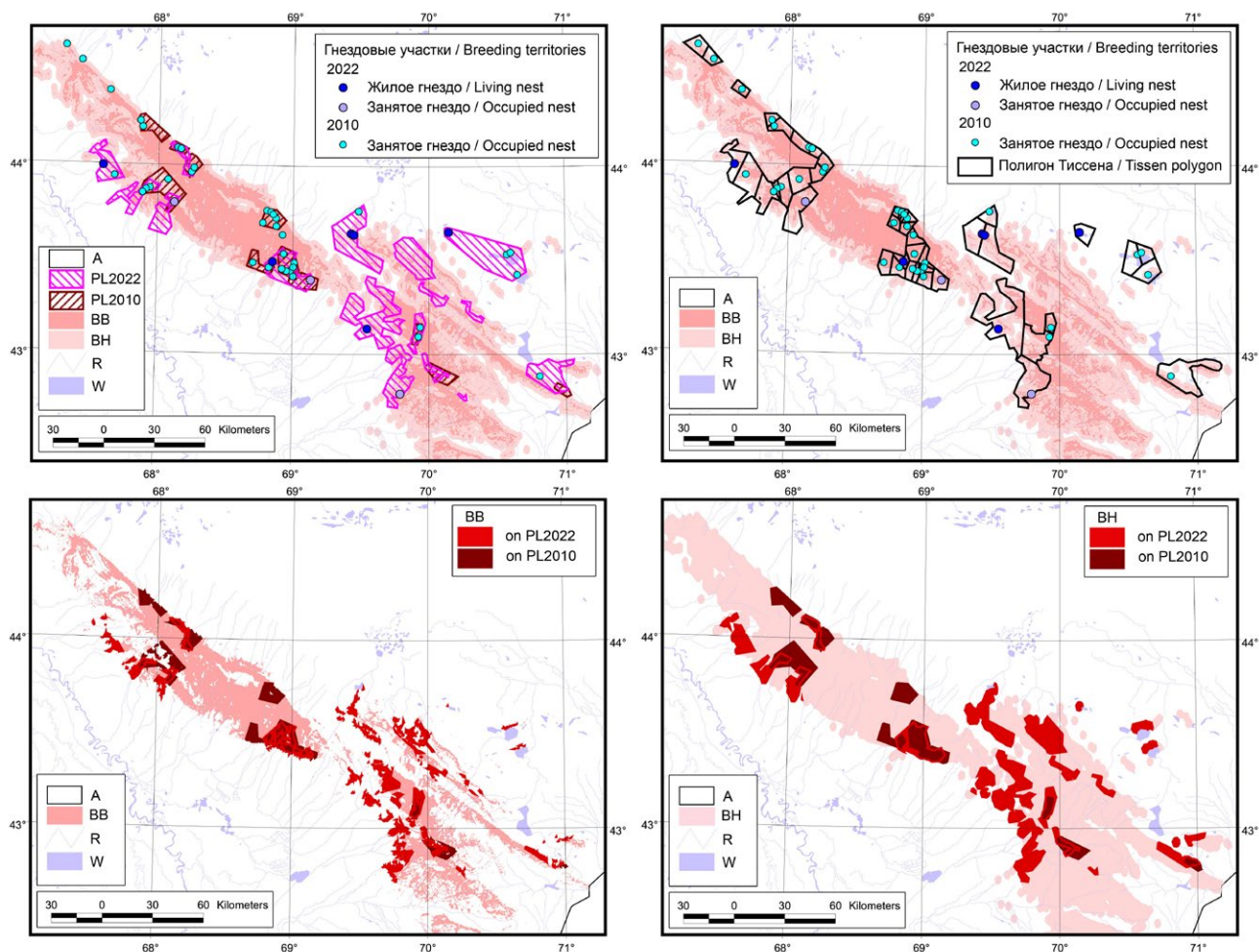
Thus, according to studies in 2010, the corrected estimate of SF abundance was determined at 105–145 pairs, 125 pairs on average, only for the mountains of Lesser and Greater Karatau and chink zone of the northern macroslope, without adjacent territories from south of the Uzbekistan border and periphery of Ta-



Жилое гнездо балобана в старой постройке чёрного аиста (*Ciconia nigra*) на скале чинка в северных предгорьях Каратау. Фото И. Карякина.

Saker Falcon's living nest in the old nest of the Black Stork (*Ciconia nigra*) on the cliff-face in the northern foothills of Karatau. Photos by I. Karyakin.





**Рис. 13.** Гнездовые участки балобана на площадках (вверху слева), полигоны Тиссена, построенные по этим гнездовым участкам (вверху справа), гнездопригодные биотопы (внизу слева) и местообитания (внизу справа) балобана на площадках в Каратау. Условные обозначения: А – границы стран, PL2022 – учётные площадки, заложенные в 2022 г., PL2010 – учётные площадки, заложенные в 2010 г., BB – гнездопригодные для балобана биотопы, BH – местообитания балобана, R – реки, W – водоёмы.

**Fig. 13.** Saker Falcon breeding territories on plots (upper left), Thiessen polygons constructed from these breeding territories (upper right), Saker Falcon breeding biotopes (bottom left) and habitats (bottom right) on plots in Karatau. Legend: A – country borders, PL2022 – survey plots established in 2022, PL2010 – survey plots established in 2010, BB – Saker Falcon breeding biotopes, BH – Saker Falcon habitats, R – rivers, W – water bodies.

щадок  $M \pm SE$ :  $2,23 \pm 0,22$  пар/100 км<sup>2</sup>, несимметричный доверительный интервал от 1,64 до 3,05 пар/100 км<sup>2</sup>) в 2010 г. на общую площадь местообитаний в Каратау и на прилегающих территориях (9084,3 км<sup>2</sup>) предполагает гнездование от 149 до 277 пар, в среднем 203 пары. Плотность гнездования вида без учёта «нулевых» площадок составила  $2,81 \pm 0,19$  пар/100 км<sup>2</sup> (несимметричный доверительный интервал от 2,13 до 3,69 пар/100 км<sup>2</sup>). Поэтому верхняя оценка численности, предполагающая пропуск гнездовых участков балобана на площадках с нулевыми значениями, может быть от 194 до 336 пар, в среднем 255 пар.

Экстраполяция плотности занятых гнездовых участков балобана в гнездопригодных биотопах на площадках (с учётом «нулевых» площадок  $M \pm SE$ :  $4,78 \pm 0,35$  пар/100 км<sup>2</sup>, несимметричный довери-

las Alatau (Karyakin *et al.*, 2010). This estimate took into account SF breeding territories that have been abandoned due to illegal trapping and are concentrated mainly along roads and around cities. Given that the share of successful SF nests was 60%, the number of successful pairs in the region for the time of brood rearing was determined at 63–87 pairs, averaging 75 pairs (Karyakin *et al.*, 2010).

In 2022, we recalculated SF abundance in 2010 for the entire area of studied extent (see Methods), which includes outcrops of the left bank of Syr Darya, Kazgurt, Darbazu, the periphery of Talas Alatau, all of Karatau, and chinks of the northern piedmont plain (habitat area – 9,084.3 км<sup>2</sup>, area of breeding biotopes – 4,222.64 км<sup>2</sup>).

Areas of SF breeding biotopes and habitats at plots are visualized in Figure 13, results of plot counts are shown in Tables 5–7, and as-

тельный интервал от 3,03 до 7,54 пар/100 км<sup>2</sup>) на общую площадь гнездопригодных биотопов в Каратау и на прилегающих территориях (4222,64 км<sup>2</sup>) предполагает гнездование в 2010 г. от 128 до 318 пар, в среднем 202 пары. Верхняя оценка численности, предполагающая пропуск гнездовых участков балобана на площадках с нулевыми значениями, может быть 197–485 пар, в среднем 309 пар.

Плотность гнездования балобана в 2022 г. на площадках, с учётом «нулевых», составила ( $M \pm SE$ )  $0,21 \pm 0,26$  пары/100 км<sup>2</sup>, в том числе в местообитаниях на площадках –  $0,31 \pm 0,27$  пары/100 км<sup>2</sup> и в гнездопригод-

nessment of the abundance by different methods is shown in Table 8.

SF nesting density in 2010 on plots, taking into account those where the species was not found (hereinafter referred to as null plots), and the piedmont plain with chinks, was ( $M \pm SE$ )  $1.51 \pm 0.36$  pairs/100 km<sup>2</sup>, including in habitats on plots –  $2.23 \pm 0.22$  pairs/100 km<sup>2</sup> and in breeding biotopes on plots –  $4.78 \pm 0.35$  pairs/100 km<sup>2</sup>.

Extrapolation of occupied SF nest density in habitats on plots (taking into account null plots  $M \pm SE$ :  $2.23 \pm 0.22$  pairs/100 km<sup>2</sup>, asymmetric confidence interval of 1.64 to 3.05 pairs/100 km<sup>2</sup>) over a total habitat area in

Табл. 5. Результаты учёта гнездящихся балобанов на площадках в 2010 и 2022 гг.

Table 5. Results of nesting Saker Falcon census on plots in 2010 and 2022.

ID2010	Площадь учётных площадок в 2010 г., км <sup>2</sup> Area of surveyed plots, 2010, km <sup>2</sup>	ID2022	Площадь учётных площадок в 2022 г., км <sup>2</sup> Area of surveyed plots, 2022, km <sup>2</sup>	Перекрытие, км <sup>2</sup> Overlap, km <sup>2</sup>	Число занятых гнездовых участков Number of occupied breeding territories	
					2010	2022
1	120.2		-	-	6	-
		P1	218.0	-		1
2	307.7	P2	184.6	48.2	5	0
		P3	192.4	38.6		0
3	48.3	P4	84.2	33.3	2 (3)**	0
4	78.0			23.7	2	-
5	117.7				2	-
6	99.4			24.0	2	-
10	159.5	P5	359.7	133.8	6	1
11	126.1			94.7	0	-
		P6	488.8			2
		P7	654.9			1
		P8	321.4			0
		P9	110.5	52.3	1 (2)**	0
7	58.3	P10	69.0	48.4	0	0
		P11	9.2		0	
8	119.9	P12	317.4	24.8	0	0
		P13	41.1		0	
		P14	71.3		0	
		P15	357.3		0	
Чинки / Chinks*	711.9*	P16	711.9		4	1
<b>Всего / Total</b>	<b>1,985.28</b>		<b>4,191.5</b>	<b>521.7</b>	<b>30 (32)**</b>	<b>6</b>

#### Примечания / Notes:

\* – площадь учётных площадок с учётом территории с чинками (в статье 2010 года плотность гнездования балобана для чинков рассчитывалась отдельно от горных массивов и составила 1,92 пар/10 км чинков для 20,85 км чинков, 17 км из которых лежат в пределах площадки P16, заложенной в 2022 г.) / census plot area including territory with chinks (in 2010 article, Saker Falcon breeding density for chinks was calculated separately from mountain ranges and amounted to 1.92 pairs/10 km of chinks for 20.85 km of chinks, 17 km of which lie within the P16 plot established in 2022);

\*\* – в скобках приводится число гнездовых участков с учётом покинутых птицами, т.е. это иллюстрирует недавнюю численность на площадке / number of breeding territories is given in parentheses with breeding territories abandoned by birds, i.e. this illustrates the recent abundance on the plot.



Табл. 6. Показатели плотности балобана на гнездовании в гнездопригодных биотопах и местообитаниях на площадках в 2010 г.

Table 6. Results of breeding Saker Falcons census in breeding biotopes and habitats on plots in 2010.

ID 2010	Площадь учётных площадок, км <sup>2</sup> Area of surveyed plots, км <sup>2</sup>	Площадь местообитаний на площадке, км <sup>2</sup> Plot habitat area, км <sup>2</sup>	Площадь гнездопригодных биотопов на площадке, км <sup>2</sup> Area of breeding biotopes on the plot, км <sup>2</sup>	Число занятых гнездовых участков Number of occupied breeding territories (OBT)	Плотность занятых гнездовых участков на площадке (пар/100 км <sup>2</sup> ) Density of OBT on the plot (pairs/100 km <sup>2</sup> )	Плотность занятых гнездовых участков в местообитаниях на площадке (пар/100 км <sup>2</sup> ) Density of OBT in habitats on the plot (pairs/100 km <sup>2</sup> )	Плотность занятых гнездовых участков в гнездопригодных биотопах на площадке (пар/100 км <sup>2</sup> ) Density of OBT in breeding biotopes on the plot (pairs/100 km <sup>2</sup> )
1	120.2	120.2	35.30	6	4.99	4.99	17.00
2	307.7	302.92	34.94	5	1.62	1.65	14.31
3	48.3	43.74	2.25	2	4.14	4.57	88.81
4	78.0	78.0	20.85	2	2.56	2.56	9.59
5	117.7	117.63	6.46	2	1.70	1.70	30.94
6	99.4	99.13	81.13	2	2.01	2.02	2.47
7	58.3	55.23	55.23	1	1.72	1.81	1.81
8	119.9	119.9	119.90	0	0	0	0
9	38.3	39.57	39.57	0	0	0	0
10	159.5	155.00	155.00	6	3.76	3.87	3.87
11	126.1	114.87	58.04	0	0	0	0
Чинки / Chinks	711.88	96.96	18.82	4	0.56	4.13	21.25
<b>Всего / Среднее</b>	<b>1,985.28</b>	<b>1,343.14</b>	<b>627.49</b>	<b>30</b>	<b>1.51±0.36</b>	<b>2.23±0.22</b>	<b>4.78±0.35</b>
<b>Total / Average</b>	<b>1,700.98*</b>	<b>1,068.80*</b>	<b>409.98*</b>	<b>30</b>	<b>1.76±0.42*</b>	<b>2.81±0.19*</b>	<b>7.32±0.35*</b>

## Примечания / Notes:

\* без учёта площадок с нулевыми данными / excluding plots with null data

ных биотопах на площадках –  $1,18 \pm 0,37$  пары/100 км<sup>2</sup>.

Экстраполяция плотности занятых гнездовых участков балобана в местообитаниях на площадках (с учётом «нулевых» площадок  $M \pm SE$ :  $0,31 \pm 0,27$  пар/100 км<sup>2</sup>, несимметричный доверительный интервал от 0,15 до 0,31 пар/100 км<sup>2</sup>) в 2022 г. на общую площадь местообитаний в Каратау и на прилегающих территориях (9084,3 км<sup>2</sup>) предполагает гнездование от 23 до 47 пар, в среднем 33 пары. Плотность гнездования вида без учёта «нулевых» площадок составила  $0,48 \pm 0,24$  пар/100 км<sup>2</sup> (несимметричный доверительный интервал от 0,35 до 0,67 пар/100 км<sup>2</sup>). Поэтому верхняя оценка численности, предполагающая пропуск гнездовых участков балобана на площадках с нулевыми значениями, может быть от 31 до 61 пар, в среднем 44 пары.

Экстраполяция плотности занятых гнездовых участков балобана в гнездопригодных биотопах на площадках (с учётом «нулевых» площадок  $M \pm SE$ :  $1,18 \pm 0,37$  пар/100 км<sup>2</sup>, несимметричный доверительный интервал от 0,74 до 1,89 пар/100 км<sup>2</sup>) в 2022 г. на общую площадь гнездопригодных биотопов в Каратау и на прилегающих территориях (4222,64 км<sup>2</sup>) предполагает гнездование от 31 до 80 пар, в среднем 50 пар. Верх-

Karatau and adjacent territories (9,084.3 км<sup>2</sup>) suggests nesting of 149 to 277 pairs, with an average of 203 pairs. The nesting density of the species, excluding null plots, was  $2.81 \pm 0.19$  pairs/100 km<sup>2</sup> (asymmetric confidence interval from 2.13 to 3.69 pairs/100 km<sup>2</sup>). Therefore, the upper population estimate that omits SF breeding territories on null plots could be 194–336 pairs, with an average of 255 pairs.

Extrapolation of occupied SF nest density in breeding biotopes on plots (taking into account null plots  $M \pm SE$ :  $4.78 \pm 0.35$  pairs/100 km<sup>2</sup>, asymmetric confidence interval of 3.03 to 7.54 pairs/100 km<sup>2</sup>) over a total breeding biotops area in Karatau and adjacent territories (4,222.64 км<sup>2</sup>) suggests nesting of 128 to 318 pairs, with an average of 202 pairs in 2010. Therefore, the upper population estimate that omits SF breeding territories on null plots could be 197–485 pairs, with an average of 309 pairs.

SF nesting density in 2022 on plots, taking into account null ones, was ( $M \pm SE$ )  $0.21 \pm 0.26$  pairs/100 km<sup>2</sup>, including in habitats on plots –  $0.31 \pm 0.27$  pairs/100 km<sup>2</sup> and in breeding biotopes on plots –  $1.18 \pm 0.37$  pairs/100 km<sup>2</sup>.

Extrapolation of occupied SF breeding territories density in habitats on plots (taking

Табл. 7. Показатели плотности балобана на гнездовании в гнездопригодных биотопах и местообитаниях на площадках в 2022 г.

Table 7. Results of breeding Saker Falcons census in breeding biotopes and habitats on plots in 2022.

ID 2022	Площадь учётных площадок, км <sup>2</sup> Area of surveyed plots, км <sup>2</sup>	Площадь местообитаний на площадке, км <sup>2</sup> Plot habitat area, км <sup>2</sup>	Площадь гнездопригодных биотопов на площадке, км <sup>2</sup> Area of breeding biotopes on the plot, км <sup>2</sup>	Число занятых гнездовых участков Number of occupied breeding territories (OBT)	Плотность занятых гнездовых участков на площадке (пар/100 км <sup>2</sup> ) Density of OBT on the plot (pairs/100 км <sup>2</sup> )	Плотность занятых гнездовых участков в местообитаниях на площадке (пар/100 км <sup>2</sup> ) Density of OBT in habitats on the plot (pairs/100 км <sup>2</sup> )	Плотность занятых гнездовых участков в гнездопригодных биотопах на площадке (пар/100 км <sup>2</sup> ) Density of OBT in breeding biotopes on the plot (pairs/100 км <sup>2</sup> )
P1	218.05	164.92	35.30	1	0.46	0.61	2.83
P2	184.61	139.52	34.94	0	0	0	0
P3	192.41	122.46	2.25	1	0.52	0.82	44.40
P4	84.18	84.18	20.85	0	0	0	0
P5	359.67	338.47	6.46	2	0.56	0.59	30.94
P6	488.84	310.56	81.13	2	0.41	0.64	2.47
P7	654.85	534.48	103.64	1	0.15	0.19	0.96
P8	321.39	297.28	163.80	1	0.31	0.34	0.61
P9	110.46	110.46	41.51	0	0	0	0
P10	68.97	68.97	68.97	0	0	0	0
P11	9.22	9.22	9.22	0	0	0	0
P12	317.40	169.43	49.70	0	0	0	0
P13	41.06	40.94	40.94	0	0	0	0
P14	71.31	69.38	4.53	0	0	0	0
P15	357.25	314.39	80.46	0	0	0	0
P16	711.88	96.96	18.82	1	0.14	1.03	5.31
<b>Всего / Среднее Total / Average</b>	<b>4,191.54 2,947.08*</b>	<b>2,871.61 1,865.12*</b>	<b>762.51 411.40*</b>	<b>9 9</b>	<b>0.21±0.26 0.31±0.24*</b>	<b>0.31±0.27 0.48±0.24*</b>	<b>1.18±0.37 2.19±0.47*</b>

## Примечания / Notes:

\* без учёта площадок с нулевыми данными / excluding plots with null data

няя оценка численности, предполагающая пропуск гнездовых участков балобана на площадках с нулевыми значениями, может быть 52–164 пар, в среднем 92 пары.

Негативная динамика численности балобана за 12 лет составила 70,23–75,25% по данным расчёта численности в гнездопригодных биотопах в 2010 и 2022 гг., и 82,75–83,74% – по данным расчёта численности в местообитаниях.

Мы наблюдаем достаточно высокие погрешности оценки численности балобана на 2010 г. Это связано с тем, что мы имеем избыточную площадь гнездопригодных биотопов в Малом Каратау и Боралдае, как вероятно, и на всей территории возможного гнездования балобана, от заповедника Аксу-Джабаглы до Сырдарьи. При этом популяция этого сокола здесь уже тогда была подорвана нелегальным отловом, и распространение его было крайне неравномерным. В 2022 г. ситуация ещё более усугубилась, и распределение балобана в гнездопригодных биотопах стало случайным.

into account null plots  $M \pm SE$ : 0.31±0.27 pairs/100 km<sup>2</sup>, asymmetric confidence interval of 0.15 to 0.31 pairs/100 km<sup>2</sup>) over a total habitat area in Karatau and adjacent territories (9,084.3 km<sup>2</sup>) suggests nesting of 23 to 47 pairs, with an average of 33 pairs in 2022. The nesting density of the species, excluding null plots, was 0.48±0.24 pairs/100 km<sup>2</sup> (asymmetric confidence interval from 0.35 to 0.67 pairs/100 km<sup>2</sup>). Therefore, the upper population estimate that omits SF breeding territories on null plots could be 31–61 pairs, with an average of 44 pairs.

Extrapolation of occupied SF nest density in breeding biotopes on plots (taking into account null plots  $M \pm SE$ : 1.18±0.37 pairs/100 km<sup>2</sup>, asymmetric confidence interval of 0.74 to 1.89 pairs/100 km<sup>2</sup>) over a total breeding biotope area in Karatau and adjacent territories (4,222.64 km<sup>2</sup>) suggests nesting of 31 to 80 pairs, with an average of 50 pairs in 2022. Therefore, the upper population estimate that omits SF breeding

Табл. 8. Результаты оценки численности балобана в Каратау и на прилегающих территориях разными методами.

Table 8. Results of Saker Falcon abundance estimation for Karatau and adjacent territories by different methods.

Метод оценки численности Population estimation method	2010		2022	
	Гнездящиеся пары Breeding pairs	Успешные пары Successful pairs	Гнездящиеся пары Breeding pairs	Успешные пары Successful pairs
	Среднее (Мин-Макс) / Average (Min-Max)			
Площадки с учётом «нулевых» (экстраполяция на местообитания 9084,3 км <sup>2</sup> ) Plots including plots with null data (extrapolation to habitats 9,084.3 km <sup>2</sup> )	203 (149–277)	122 (89–166)	33 (23–47)	17 (12–24)
Площадки без учёта «нулевых» (экстраполяция на местообитания 9084,3 км <sup>2</sup> ) Plots excluding plots with null data (extrapolation to habitats 9,084.3 km <sup>2</sup> )	255 (194–336)	153 (116–202)	44 (31–61)	22 (16–31)
Площадки с учётом «нулевых» (экстраполяция на гнездопригодные биотопы 4222,64 км <sup>2</sup> ) Plots including plots with null data (extrapolation to breeding biotopes 4,222.64 km <sup>2</sup> )	202 (128–318)	121 (77–191)	50 (31–80)	25 (16–40)
Площадки без учёта «нулевых» (экстраполяция на гнездопригодные биотопы 4222,64 км <sup>2</sup> ) Plots excluding plots with null data (extrapolation to breeding biotopes 4,222.64 km <sup>2</sup> )	309 (197–485)	185 (118–291)	92 (52–164)	46 (26–82)
Генерация случайных точек с валидацией по полигонам Тиссена (5384,86 км <sup>2</sup> ), корректировкой по пространственным переменным и верификацией итогового паттерна точек – лучший результат валидации Random point generation with Thiessen polygon (5,384.86 km <sup>2</sup> ) validation corrected for spatial variables and verification of the final layer of points – best validation result	200 (128–281)	120 (77–169)	46 (28–66)	23 (14–33)

Оценивая численность балобана в 2010 г., мы разделили Большой и Малый Каратау на 2 кластера, а также отдельно выделили чинки и экстраполировали численность балобана раздельно. Но в настоящей работе мы решили ограничиться генерацией случайных точек на весь паттерн с их последующей раздельной фильтрацией в зависимости от плотности на учётных площадках. А для 2022 г. применили равномерное прореживание точек в соответствии с пропорцией сокращения гнездовых участков на площадках.

Построение сети точек на основании диапазона дистанций между ближайшими соседями (от минимальной до средней) без учёта корректирующих распределение ковариат (дистанции до ферм, распределение скал относительно степных долин, плотность на площадках с разными ландшафтными характеристиками), без притяжки сгенерированных точек к реальным гнездовым участкам и без коррекции по плотности распределения реальных гнездовых участков балобана в различных ячейках регулярной сети позволяет вписать в контур местообитаний этого вида на Каратау и прилегающих территориях от 140 до 594 точек. Эти показатели определяют пределы

территорий на null plots could be 52–164 pairs, with an average of 92 pairs.

The negative dynamic in SF abundance over a 12-year period was 70.23–75.25% according to abundance estimation in breeding biotopes in 2010 and 2022, and 82.75–83.74% according to abundance estimation in habitats.

We observe a rather high error in estimating SF abundance for 2010. This is due to the fact that we have an excess area of breeding biotopes in Lesser Karatau and Boraldai, probably as in the entire area of possible SF breeding between Aksu-Zhabagly Reserve and Syr Darya. In addition, the SF population was already undermined by illegal trapping here, and its distribution was extremely uneven. In 2022 situation worsened further, and SF distribution in breeding biotopes became random.

To estimate SF abundance in 2010, we divided the Greater and Lesser Karatau into 2 clusters, identifying chinks separately as well, and extrapolated SF abundance individually. But here, we decided to confine ourselves to generating random points for the entire pattern with their subsequent filtering depending on the density at census plots. For 2022,

ёмкости среды для балобана, причём для параметров распределения этого вида на рассматриваемой территории в 2010 г.

Общая площадь, занятая 46 полигонами Тиссена, по результатам исследований за 2010 и 2022 гг. (рис. 13) составила 5384,86 км<sup>2</sup>. Площадь территории, приходящейся на 1 гнездовой участок балобана (полигон Тиссена), варьировала от 12,3 до 654,16 км<sup>2</sup>, составив в среднем  $117,06 \pm 120,09$  км<sup>2</sup> (медиана = 74,66 км<sup>2</sup>). Здесь мы не рассматриваем результаты сокращения численности по совпадающим за 2010 и 2022 гг. площадкам, беря максимальные показатели только за 2010 г.

Валидация сети точек по полигонам Тиссена, построенным вокруг точек реальных гнездовых участков балобана на площадках (рис. 13), позволяет вписать в контур местообитаний на Каратау и прилегающих территориях от 206 до 594 сгенерированных точек, в среднем  $352 \pm 72$ . С максимальным уровнем совпадения с полигонами Тиссена в контуре местообитаний генерируется 248 точек.

Мы обработали этот слой из 248 точек, сгенерированных в соответствии с моделью, показавшей лучший результат валидации по полигонам Тиссена. Сначала мы удалили точки, лежащие за пределами буферных зон степных котловин. Затем мы проредили паттерн точек за пределами буферов ферм и в зоне распределения «нулевых» площадок, удалив 50% точек (последовательно удалялась одна из пары точек с ближайшими друг к другу дистанциями). Далее мы проредили паттерн точек в разных ландшафтных зонах пропорционально плотности балобана на площадках в этих зонах и осуществили верификацию точек по истинным гнёздам и локациям регулярных встреч птиц, как по нашим данным, так и по данным других авторов (см. Амирекул и др., 2022). В итоге мы получили 200 точек (интервал от 128 до 281). Для 152 точек статус не подтверждён, так как территории, для которых они были сгенерированы, остаются необследованными, но являются гнездопригодными согласно результатам нашего моделирования, и 48 точек верифицированы как гнездовые участки.

Карта распределения точек для оценки численности балобана в Каратау и на прилегающих территориях из лучшей модели с валидацией по полигонам Тиссена после коррекции и верификации по истинным гнездовым участкам, а также карта плотности распределения этих точек, построенная с радиусом поиска 20 км, показаны на рисунке 14.

uniform thinning of points was applied in accordance with the proportion of reduction in breeding territories on plots.

Building the point network based on the range of distances between nearest neighbors (from minimum to medium) without taking into account corrective distribution of covariates (distances to farms, distribution of rocks relative to steppe valleys, density on plots with different landscape characteristics), without drawing generated points to real breeding territories and without correction for the distribution density of real SF breeding territories in different cells of the regular network, allows you to enter from 140 to 594 points into the contour of SF habitats in Karatau and adjacent territories. These parameters determine limits of environmental capacity for SF, and for the distribution parameters of this species in the study area in 2010.

Total area occupied by 46 Thiessen polygons based on survey results for 2010 and 2022 (Fig. 13) amounted to 5,384.86 km<sup>2</sup>. The area per one SF breeding territory (Thiessen polygon) varied from 12.3 to 654.16 km<sup>2</sup>, averaging  $117.06 \pm 120.09$  km<sup>2</sup> (median = 74.66 km<sup>2</sup>). Here we do not consider results of the abundance reduction at plots coinciding for 2010 and 2022, taking maximum indicators for 2010 only.

Validation of the network of points using Thiessen polygons built around points of real SF breeding territories on plots (Fig. 13) makes it possible to inscribe from 206 to 594 generated points, on average  $352 \pm 72$ , into the habitat contour in Karatau and adjacent territories. 248 points were generated within the habitat contour with the maximum level of matching with the Thiessen polygons.

We processed this layer of 248 points generated according to the model that showed the best validation result for Thiessen polygons. First, we removed points that lay outside buffer zones of steppe basins. Then we thinned out the pattern of points outside the buffers of farms and in the distribution zone of null plots, removing 50% of points (one of the pairs of points with the closest distances to each other was sequentially removed). Next, we thinned out the pattern of points in different landscape zones in proportion to SF density on plots in these zones, and verified points by real nests and locations of regular bird encounters, both according to our data and according to other authors (see Amirekul *et al.*, 2022). As a result, we got 200 points (range from 128 to 281). Status is not confirmed for



Учитывая то, что доля успешных гнёзд от числа найденных составила 60%, мы предполагаем, что численность успешных пар в регионе на период начала выкармливания выводков в 2010 г. составляла 77–169 пар, в среднем 120 пар.

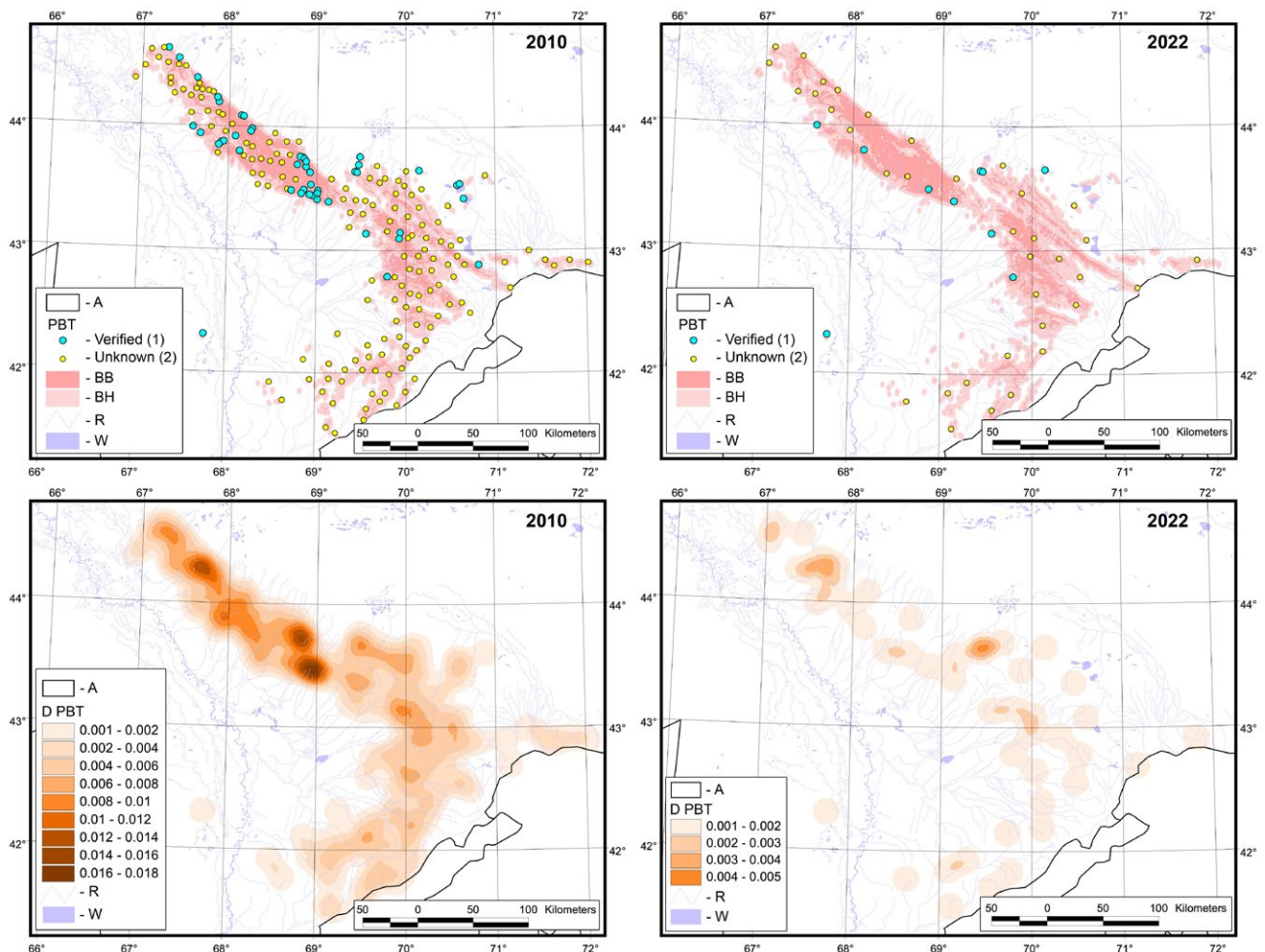
Для 2022 г. мы взяли за сокращение численности показатель 77%. Учитывая этот показатель, мы проредили паттерн точек прямо пропорционально сокращению численности балобана на площадках и получили 46 точек с интервалом от 28 до 66. Основываясь на 50% успешных гнёзд от числа занятых, мы оценили численность балобана в 14–33, в среднем 23 успешных пары.

Таким образом, итоговая численность балобана на гнездовании в Каратау и на приле-

152 points, as the territories for which they were generated remain unsurveyed, but are suitable for nesting according to our modeling results, and 48 points are verified as breeding territories.

The points distribution map for estimation of SF abundance in Karatau and adjacent territories from the best model with validation by Thiessen polygons after correction and verification for real breeding territories, as well as distribution map for these points built with a search radius of 20 km, are shown in Figure 14.

Given that the proportion of successful nests out of the number of all discovered nests was 60%, we assume that the number of successful



**Рис. 14.** Результаты оценки численности балобана в Каратау и на прилегающих территориях методом генерации случайных точек по заданному диапазону дистанций между ближайшими соседями на основе регулярной сети с валидацией по полигонам Тиссена, корректировкой и верификацией точек по истинным гнездовым участкам балобана (вверху), и карта плотности с радиусом поиска 20 км, построенная по этим точкам (внизу). Условные обозначения: А – границы стран, PBT – сгенерированные точки, имитирующие распределение гнездовых участков балобана (1 – соответствующие реальным гнездовым участкам, 2 – имитирующие потенциальные гнездовые участки), D PBT – визуализация плотности распределения точек потенциальных гнездовых участков, BB – гнездопригодные биотопы, BH – местообитания, R – реки, W – водоёмы.

**Fig. 14.** Results of Saker Falcon abundance estimation for Karatau and adjacent territories by generating random points over a given range of distances between nearest neighbors based on a regular network with validation by Thiessen polygons, correction and verification of points according to the actual breeding territories of Saker Falcon (at upper) and density map with a search radius of 20 km, built from these points. Legends: A – country borders, PBT – generated points simulating the distribution of Saker Falcon breeding territories (1 – corresponding to real breeding territories, 2 – imitating potential breeding territories), D PBT – density visualization of points of potential breeding territories, BB – breeding biotopes, BH – habitats, R – rivers, W – water bodies.

гающих территориях в 2010 г. оценивается нами в 128–281, в среднем 200 гнездящихся пар, и 77–169, в среднем 120 успешных пар, и в 2022 г. – в 28–66, в среднем 46 гнездящихся пар, и 14–33, в среднем 23 успешных пары. Негативная динамика численности за 12 лет составила 77%.

Сравнение оценок численности для разных участков Каратау, сделанных в публикации 2010 г. и в настоящей публикации, показаны в табл. 9. Для Каратау, Боралдая и чинков подгорной равнины разница в оценках численности составила от 4,55% (нижний интервал) до 27,14% (верхний интервал), в среднем 16,11% в сторону увеличения оценок, сделанных в данной статье.

### Питание

В 2010 г. основными объектами питания балобана ( $n=34$ ) были большая песчанка (34,29%) и жёлтый суслик (25,71%). Под гнёздами также встречались останки разных видов птиц, которые в сумме составили 22,86% рациона (табл. 10).

В 2022 г. в связи с затяжной депрессией численности грызунов они практически полностью выпали из рациона балобана и все пары, сохранившиеся на гнездовании в горах Каратау, питались преимущественно птицами: галками (*Corvus monedula*) (42,11%), сизыми голубями (*Columba livia*), сизоворонками (*Coracias garrulus*) и мелкими воробьиными (по 15,79%) (табл. 10).

Различные авторы указывают на обилие в питании балобанов в 1957–1958 и 1994–2019 гг. голубей, розовых скворцов (*Sturnus roseus*), сизоворонок, жаворонков и жёлтых сусликов, но количественных характеристик не приводят (Корелов, 1962; 2012; Денисов, 1995; Губин, 2020).

### Угрозы

Катастрофическое сокращение численности балобана в Каратау произошло на

pairs in the region at the start of brood rearing in 2010 was 77–169 pairs, with an average of 120 pairs.

For 2022, we took the figure of 77% as a reduction in population. Considering this, we thinned out the pattern of points in direct proportion to the decline in SF abundance on plots and obtained 46 points with an interval of 28 to 66. Based on the 50% success rate of occupied nests, we estimated SF abundance at 14–33, with an average of 23 successful pairs.

Thus, we estimated the total number of SF pairs nesting in Karatau and adjacent territories in 2010 at 128–281, 200 breeding pairs on average, and 77–169 successful pairs with an average of 120; and in 2022 – at 28–66 breeding pairs, averaging at 46, and 14–33 successful pairs, averaging at 23 pairs. Over a 12-year period, the negative dynamics for abundance amounted to 77%.

Comparison of abundance estimates for different sections of the Karatau, which was carried out in the 2010 publication, with current research is shown in Table 9. For the Karatau, Boraldai, and chinks of the piedmont plain, the difference in population estimates ranged from 4.55% (lower interval) to 27.14% (upper interval), on average 16.11% showing an increase in estimates made in this article.

### Diet

In 2010, the main SF food objects ( $n=34$ ) were Great Gerbil (34.29%) and Yellow Ground Squirrel (25.71%). Remains of various bird species were also found beneath nests, which in total amounted to 22.86% of the diet (Table 10).

In 2022, a prolonged depression in rodent populations caused them to be almost completely eliminated from the SF diet, and all remaining nesting pairs in the Karatau mountains fed mainly on birds: Eurasian Jackdaw

Табл. 9. Результаты оценки численности балобана в разных частях Каратау и на прилегающих территориях в 2010 и 2022 гг.

Table 9. Results of Saker Falcon abundance estimation for different parts of Karatau and adjacent territories in 2010 and 2022.

Природный район / Natural region	Карякин и др., 2010 Karyakin et al., 2010	Современная оценка численности Modern population estimate	
		2010	2022
Большой Каратау / Greater Karatau	95 (85–105)	82 (70–110)	18 (12–25)
Малый Каратау, Боралдай и чинки на подгорной равнине севернее Малого Каратау Lesser Karatau, Boraldai, and cliff-faces on the piedmont plain north of Lesser Karatau	30 (20–40)	67 (40–89)	17 (9–26)
Таласский Алатау и остальная территория к югу от Боралдая Talas Alatau and remaining territory south of Boraldai		51 (18–82)	11 (7–15)
<b>Всего / Total</b>	<b>125 (105–145)</b>	<b>200 (128–281)</b>	<b>46 (28–66)</b>

Табл. 10. Питание балобана по данным сборов из гнёзд и с присад около гнёзд в 2010 г. и 2022 г. с привлечением литературных данных.

Table 10. Saker Falcon diet according to data collected from nests and nearby perches in 2010 and 2022 with reference to articles.

Вид / Species	Литературные данные*		2010		2022		Итого Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Большая песчанка / Great Gerbil ( <i>Rhombomys opimus</i> )	1	6.25	12	34.29			13	18.84
Жёлтый суслик / Yellow Ground Squirrel ( <i>Spermophilus fulvus</i> )	3	18.75	9	25.71			12	17.39
Тушканчик sp. / Jerboas ( <i>Dipodidae</i> sp.)	1	6.25					1	1.45
Полёвка sp. / Voles ( <i>Microtinae</i> sp.)			2	5.71			2	2.90
Грызуны sp. / Rodents ( <i>Rodentia</i> sp.)			4	11.43	1	5.26	5	7.25
Пустельга / Common Kestrel ( <i>Falco tinnunculus</i> )	1	6.25			1	5.26	2	2.90
Кеклик / Chukar partridge ( <i>Alectoris chukar</i> )			1	2.86			1	1.45
Кулик sp. / Waders ( <i>Charadrii</i> sp.)	1	6.25					1	1.45
Сизый голубь / Rock Dove ( <i>Columba livia</i> )	1	6.25	2	5.71	3	15.79	6	8.70
Сизоворонка / European Roller ( <i>Coracias garrulus</i> )	2	12.50	2	5.71	3	15.79	7	10.14
Галка / Eurasian Jackdaw ( <i>Corvus monedula</i> )					8	42.11	8	11.59
Розовый скворец / Rosy Starling ( <i>Sturnus roseus</i> )	3	18.75	2	5.71			5	7.25
Жаворонок sp. / Larks ( <i>Alaudidae</i> sp.)	2	12.50					2	2.90
Мелкие воробьиные птицы / Small passerine birds			1	2.86	3	15.79	4	5.80
Саранча / Locusts ( <i>Acrididae</i> sp.)	1	6.25					1	1.45
<b>Всего / Total</b>	<b>16</b>	<b>100</b>	<b>35</b>	<b>100</b>	<b>19</b>	<b>100</b>	<b>69</b>	<b>100</b>

## Примечания / Notes:

\* (Корелов, 2012; Денисов, 1995; Губин, 2020) / (Korelov, 2012; Denisov, 1995; Gubin, 2020)

фоне депрессии численности грызунов. Соколы лишились кормовой базы и перестали успешно размножаться на большинстве гнездовых участков. Однако нельзя всё списывать на кормовую базу, так как другие виды (курганник, беркут), лишившиеся также как и балобан кормов, не испытали такого резкого сокращения численности и продолжают держаться на гнездовых участках, просто не размножаясь. Балобан же исчез на большинстве гнездовых участков, выявленных в 2010 г.

Нелегальный отлов балобанов в Каратау и на прилегающих территориях продолжается. О том, что балобан представляет ценность для арабских сокольников, знают практически все фермеры. К тому же об отлове сибирских соколов, прилетевших в Каратау на зимовку, известно по возвратам колец и трекингу. Так, в октябре 2016 г. самка балобана из Южной Сибири была отловлена около с. Шекер Айтматовского района Таласской области Киргизии в 7 км от рассматриваемой нами территории в Казахстане (Бекмансуров и др., 2017). Самец балобана, прилетевший на зимовку в Туркестанскую область Казахстана, был отловлен в декабре 2018 г. (Николенко и др., 2019). В последние годы в Казахстане растёт число задержаний браконьеров и контрабандистов, пытающихся

(42.11%), Rock Pigeon (*Columba livia*), European Roller, and small passerines (15.79% each) (Table 10).

Various authors point to the abundance of pigeons: Rosy Starlings, European Rollers, Larks, and Yellow Ground Squirrel in SF diet in 1957–1958 and 1994–2019, but quantitative characteristics are not given (Korelov, 1962; 2012; Denisov, 1995; Gubin, 2020).

**Threats**

The catastrophic decline in SF abundance in Karatau occurred against the background of a depression in the number of rodents. SFs lost their food supply and no longer reproduced successfully in most breeding habitats. However, it is impossible to write off everything as a food supply problem, since other species (Long-Legged Buzzard, Golden Eagle), like the SF, have lost food sources, yet have not experienced such a sharp decrease in abundance and continue to stay in breeding territories, simply not breeding. SF, on the other hand, disappeared from most breeding territories identified in 2010.

Illegal SF poaching in Karatau and adjacent territories continues. Almost all farmers know that SF is of value to Arab falconers. In addition, the capture of Siberian SFs that arrived in Karatau for wintering are known

отлавливать балобанов и вывозить их в ОАЭ и Катар (События, 2018a; 2018b; 2020; Николенко, 2018), имеются сведения о задержаниях браконьеров и непосредственно на рассматриваемой территории. В частности, 12 октября 2017 г. за незаконную охоту на границе Южно-Казахстанской и Жамбылской областей Казахстана были задержаны четыре гражданина Объединенных Арабских Эмиратов и два местных жителя (События, 2018a). Поэтому в основе причин сокращения численности балобана, как и ранее (см. Карякин и др., 2010; 2015; Левин и др., 2011), видится нелегальный отлов птиц для нужд арабской соколиной охоты, который на фоне снижения кормовой базы и отсутствия размножения у соколов привёл к катастрофическому для популяции изъятию птиц. К сожалению, доказать этот фактор, который влияет на популяцию в основном в послегнездовой период, очень сложно в ходе разовых экспедиций в гнездовой период. Для этого нужна целевая работа, которая в Казахстане не ведётся как минимум последние 15 лет.

Балобан может гибнуть на опорах птицепасных линий электропередачи (ЛЭП), которыми являются линии с бетонными опорами, оснащённые металлическими траверсами со штыревыми изоляторами. Тем не менее, ни в 2010, ни в 2022 гг. (см. также Карякин и др., 2022a) мы не выявили фактов гибели балобана на ЛЭП в Каратау. Большая часть территории Каратау в силу специфики местообитаний, по которым протянулись ЛЭП, отнесена к зоне умеренной гибели хищных птиц, где наблюдается регулярная гибель 3–5 видов с плотностью распределения 0,5–1 ос./10 км ЛЭП (Карякин, 2016). Поэтому если гибель балобанов на ЛЭП здесь и имеет место, то носит нерегулярный характер, и при той численности балобана, которую мы в Каратау наблюдаем сейчас, факты электропоражения соколов на опорах ЛЭП выявить можно только случайно.

Угрозу каратауской популяции балобана несут горные разработки и развитие системы ВЭС, однако оценить влияние этих факторов на фоне катастрофического падения численности этого сокола не представляется возможным.

### Обсуждение

В связи с тем, что балобан является редким, а открытые данные о его распространении отсутствуют, либо локация, находящиеся в общем доступе, сильно искажены по причине коммерческой привлекательности вида, отсутствуют и публикации по

from ring returns and tracking. As such, a female SF from Southern Siberia was caught near the village of Sheker of the Aitmatovsky district of the Talas region of Kyrgyzstan in October 2016, 7 km from an area we are studying in Kazakhstan (Bekmansurov *et al.*, 2017). A male SF that arrived for wintering in the Turkestan region of Kazakhstan was captured in December 2018 (Nikolenko *et al.*, 2019). In recent years, the number of arrests of poachers and smugglers trying to catch SFs and export them to the UAE and Qatar has been growing in Kazakhstan (Events, 2018a; 2018b; 2020; Nikolenko, 2018). There is also information about arrests of poachers directly in the area we are studying. In particular, on October 12, 2017, four citizens of the United Arab Emirates and two local residents were detained for illegal hunting on the border of the South Kazakhstan and Zhambyl regions of Kazakhstan (Events, 2018a). Therefore, reasons for the decline in SF abundance (see Karyakin *et al.*, 2010; 2015; Levin *et al.*, 2011), remain illegal poaching of birds for the needs of Arabian falconry, which, given a decrease in the food supply and lack of breeding among SFs, led to a catastrophic removal of birds for the population. Unfortunately, it is very difficult to prove this factor since it affects the population mainly in the post-breeding period, and one-off expeditions are run during breeding period. This requires targeted work, which has not been carried out in Kazakhstan for at least 15 years.

SF can be killed on supports of bird-hazardous power lines (PL): lines on concrete poles equipped with metal traverses with pin insulators. However, neither in 2010 nor in 2022 (see also Karyakin *et al.*, 2022), we did not



Выпуск в природу в Южно-Казахстанской области 20 балобанов, изъятых у браконьеров. Фото предоставлено РГКП «ПТО «Охотзоопром». Источник: Отырар.KZ.

Release into the wild in the South Kazakhstan region of 20 Saker Falcons seized from poachers. Photo from Okhotzooprom. Source: Otyrar.KZ.





Гнездопригодные для балобана биотопы в осевой части хребта Каратау. Фото О. Ширяева.

*Breeding biotopes of the Saker Falcons in the axial part of the Karatau ridge. Photo by O. Shiriaev.*

моделированию его распространения. Мы нашли единственную статью о моделировании климатической ниши, занимаемой балобаном, на основе данных из GBIF (Sutton, Puschendorf, 2020), причём, очевидно, не самую удачную, в которой Каратау находится за пределами климатического оптимума для этого вида. Авторы смоделировали в MaxEnt 3 зоны климатического оптимума в ареале балобана в Казахстане, которые не совпали ни с одной из существующих (или существовавших ранее) популяций этого сокола в стране. Согласно моделированию авторов, наибольший вклад в прогноз модели гнездового ареала балобана внесла средняя температура самого тёплого квартала (bio10) (37,24%), за ней следуют осадки в самый засушливый месяц (bio14; 15,97%), осадки в самый влажный месяц (bio13; 13,21%) и сезонность температуры (bio4; 12,32%), при этом вклад остальных переменных составил 10% (Sutton, Puschendorf, 2020). По результатам нашего моделирования в RF наибольший вклад в прогноз модели гнездового ареала балобана внесли (по мере убывания) следующие переменные: осадки самого тёплого квартала (bio18), сезонность осадков (bio15), максимальная температура самого тёплого месяца (bio05), средняя температура самого засушливого квартала (bio09), среднесуточный диапазон температур (bio02), bio13, средняя температура самого влажного квартала (bio08), bio04, осадки самого засушливого квартала (bio17), среднегодовая температура (bio01) для вероятности и bio18, bio13, годовой диапазон температуры (bio07), bio10, осадки самого влажного квартала (bio16), bio04 для регрессии. Таким образом, вторая по важности переменная bio14, определившая климатическую нишу для балобана в модели L. Sutton & R. Puschendorf (2020), не вошла вообще в нашу модель, переменная bio10, самая важная переменная в модели выше цитируемых авторов, оказалась на 4-й позиции в нашей модели только для регрессии,

identify any facts of SF deaths on PLs in the Karatau. Most of the Karatau area, due to the specifics of habitats along which PLs stretch, is assigned to the zone of moderate raptor mortality, where regular death of 3–5 species is observed with a distribution density of 0.5–1 ind./10 km of power lines (Karyakin, 2016). Therefore, if SF mortality on PLs does occur here, it is irregular in nature, and given the SF abundance that we are currently observing in Karatau, facts of SF electrocution on PL can only be revealed by chance.

The threat to the Karatau SF population is posed by mining and the development of the wind power plant system, however, it is not possible to assess the impact of these factors given the catastrophic decline in SF abundance.

## Discussion

Due to the rarity of Saker Falcons and lack of open data on its distribution, locations that are in the public domain are highly distorted due to its commercial attractiveness, there are no publications modeling its distribution. We found just a single article modeling the climatic niche occupied by SF based on data from GBIF (Sutton, Puschendorf, 2020). It was not particularly useful since it mentions that Karatau is outside the climatic optimum for this species. Authors modeled climatic optimum zones using MaxEnt 3 in this raptor's range in Kazakhstan, which did not coincide with any of the existing (or previously existing) populations of this falcon in the country. According to authors' modeling, the largest contribution to the prognosis of SF breeding range model was made by the average temperature of the warmest quarter (bio10) (37.24%), followed by precipitation in the driest month (bio14; 15.97%), precipitation in the wettest month (bio13; 13.21%), and temperature seasonality (bio4; 12.32%), while the contribution of other variables was 10% (Sutton, Puschendorf, 2020). According to the results of our modeling in Random Forest, following variables made the greatest contribution to the prognosis of SF breeding range model (in descending order): precipitation of the warmest quarter (bio18), seasonality of precipitation (bio15), maximum temperature of the warmest month (bio05), average temperature of the driest

bio13 в результатах нашего моделирования оказалась на 2-й позиции только для регрессии, а для вероятности не вошла в первую пятёрку важных переменных, bio04 не вошла в первую пятёрку важных переменных, как для вероятности, так и для регрессии. Важность для балобана осадков очевидна, так как основу его рациона составляют грызуны, численность которых и доступность зависят от вегетации, а следовательно, от осадков. Поэтому биологический смысл всех переменных окружающей среды, связанных с осадками, понятен. Остаются вопросы, почему переменные, связанные с осадками, вошли в приоритетные в модели L. Sutton & R. Puschendorf (2020), но не явились самыми важными, и почему их модель получилась не соответствующей реальному распространению балобана в Казахстане? Нам кажется, что основных причин этого несколько. Во-первых, существуют важные методологические проблемы, связанные с пространственной предвзятостью и пространственными искажениями, в случаях использования только точек присутствия из цифровых баз данных (Beck *et al.*, 2014). Как раз данные для моделирования климатической ниши балобана были взяты авторами из CBIF. Если эти данные относятся к гнездовым находкам балобана, то привязаны к центроидам регулярной сети 50x50 км или к аналогичной градусной сети, а точные координаты имеют лишь локации негнездовых встреч соколов, которые искажают картину распределения вида в гнездовой период. Во-вторых, балобан имеет большой ареал, протянувшийся через аридные зоны Евразии, и широкую климатическую нишу – он гнездится в диапазоне высот от -100 до +4700 м над уровнем моря, населяя широкий спектр биомов от зональных пустынь до альпийского пояса высокогорий (Kovács *et al.*, 2014). Это создаёт существенные сложности для моделирования глобального ареала вида, особенно если моделирование осуществляется только по климатическим переменным. Так как существует положительная связь между размером ареала вида и шириной его экониши (Moore *et al.*, 2018), рекомендуется избегать моделирования распространения вида на весь его ареал, если ареал обширен и в нём существуют популяционные и/или подвидовые агрегации. Показано, что агрегация в отдельной части ареала вида может привести к сглаженным кривым отклика по градиентам окружающей среды (Pearman *et al.*, 2010), что, в свою очередь, приводит к увеличению ширины ниши и завышению показателей

quarter (bio09), average daily temperature range (bio02), bio13, average temperature of the wettest quarter (bio08), bio04, precipitation of the driest quarter (bio17), average annual temperature (bio01) for probability, and bio18, bio13, annual temperature range (bio07), bio10, precipitation of the wettest quarter (bio16), bio04 for regression. Thus, the second most important variable bio14, which determined the SF's climatic niche in the model of L. Sutton & R. Puschendorf (2020), was not included in our model at all, the bio10 variable, the most important variable in the model cited above, turned out to be at the fourth position in our model only for regression, bio13 in the results of our simulation was in the second position only for regression, and for probability it did not enter the top five important variables, bio04 did not enter the top five important variables, both for probability and for regression. The importance of precipitation for SF is obvious, since the basis of its diet is rodents, the number and availability of which depend on vegetation, and, consequently, on precipitation. Thus, the biological meaning of all environmental variables associated with precipitation is clear. The question remains why the variables associated



Птенцы балобана в гнезде в горах Каратау.  
Фото И. Карякина.

Saker Falcon nestlings in the nest in Karatau mountains.  
Photo by I. Karyakin.

предсказанного распределения этого вида. Собственно, именно с этими проблемами и столкнулись авторы цитируемой нами статьи, моделируя климатическую нишу балобана на весь ареал. Отсюда и искажение до полной противоположности климатического оптимума балобана в центре его глобального ареала, в Казахстане, в их модели, и выпадение из этого оптимума Каратау, в котором до последнего времени сохранялась важная популяция этого сокола.

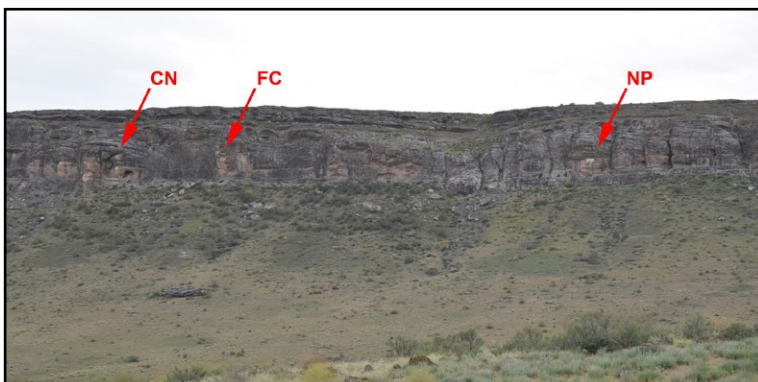
Оценивая результаты нашего моделирования, мы считаем его удачным, несмотря на избыточность площадей гнездопригодных биотопов в диапазоне вероятности присутствия вида от 50 до 100% для осевой части Каратау (см. рис. 11). Как уже отмечалось выше, к гнездопригодным были отнесены все участки в осевой части Каратау, топографически сходные с таковыми точек присутствия балобана, без учёта удалённости их от степных котловин (долин), то есть от основных мест добычи соколами пропитания. К уменьшению площадей гнездопригодных биотопов мы подошли достаточно просто, используя маски буферных зон степных котловин, которые были оцифрованы вручную. Однако для более качественного автоматизированного моделирования распространения вида имеет смысл продумать включение в модель определённых параметров, объясняющих распределение гнёзд балобана относительно охотничьих территорий, например, перепада высот и площади травостоев в кластерах с минимальной неровностью поверхности в радиусе 3 км от точек присутствия балобана. Набор этих переменных увеличит нагрузку на сервер и удлинит процесс классификации изображений, но, возможно, позволит сократить ручную оцифровку.

Мы считаем достоверной оценку численности балобана, полученную для Каратау и прилегающих территорий по состоянию на 2010 год. Экстраполяция плотности гнездящихся пар на площадках на общую площадь

with precipitation were included in the priority in the model of L. Sutton & R. Puschendorf (2020), but were not considered as the most important, and why their model turned out to be inconsistent with the actual SF distribution in Kazakhstan?

We think that there are several major reasons for this. Firstly, there are important methodological issues associated with spatial bias and spatial distortion when only using presence points from digital databases (Beck *et al.*, 2014). The authors used only GBIF data for modeling SF climatic niche. If this data refers to nesting finds of SFs, then they are tied to centroids of a regular 50x50 km network or to a similar degree network, and only the locations of non-breeding encounters have exact coordinates, which distort species distribution patterns in breeding period. Secondly, SF has a large range stretching through the arid zones of Eurasia and a wide climatic niche – it nests in an altitude range from -100 to +4,700 m above sea level, inhabiting a wide range of biomes from zonal deserts to the Alpine belt of high mountains (Kovács *et al.*, 2014). This creates significant difficulties for modeling the global range of the species, especially only in terms of climatic variables. Since there is a positive correlation between the species range size and the breadth of its ecoiniche (Moore *et al.*, 2018), it is recommended to avoid modeling the distribution of a species over its entire range if the range is large and there are population and/or subspecies aggregations in it. It has been shown that aggregation in a particular part of the species range can lead to smoothed response curves to environmental gradients (Pearman *et al.*, 2010), which, in turn, leads to an increase in niche width and overestimation of the species' predicted distribution. Authors of the cited article faced this exact problem when modeling the SF climatic niche for an entire range. Hence the distortion of the SF climatic optimum in Kazakhstan, the center of its global range, to the complete opposite in their model – and disappearance of Karatau from this optimum, which, until recently, retained an important SF population.

In evaluating the results of our modeling, we consider it successful despite the redundancy of breeding biotope areas in the range of SF



Гнездовая скала балобанов, на которой помимо соколов размножаются чёрный аист и стервятник (*Neophron percnopterus*). Фото И. Карякина.

Saker Falcon nesting cliff where, in addition to falcons, Black Stork and Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) breed. Photo by I. Karyakin.



гнездопригодных биотопов и местообитаний, а также ГСЧ с корректировкой по пространственным переменным, дали неожиданно близкие средние показатели оценки численности – 202, 203 и 200 пар соответственно. Это в среднем на 16,11% больше оценки численности, сделанной в статье 2010 г. (см. Карякин и др., 2010). Причины увеличения оценки численности кроются в большей площади биотопов на Малом Каратау и прилегающих территориях, отнесённых к гнездопригодным по результатам моделирования распространения балобана в 2022 г. Это напрямую связано с большим охватом территорий, затронутых учётами, на Малом Каратау и Боралдае в 2022 г. и лучшим качеством моделирования. То есть в 2010 г. мы более или менее корректно оценили площадь гнездопригодных для балобана биотопов, а следовательно, и численность этого сокола на гнездовании в Большом Каратау, но недооценили в Малом Каратау.

Учитывая то, что экстраполяция плотности с учётом «нулевых» площадок и ГСЧ с корректировкой по пространственным переменным дают близкие результаты, вероятность пропуска гнездовых участков балобана на «нулевых» площадках низка, и вид на них реально отсутствовал в период проведения учётов. А значит, показатели плотности балобана, полученные без учёта «нулевых» площадок, нельзя экстраполировать на площадь гнездопригодных биотопов и/или местообитаний этого вида в Каратау, так как они дают завышенные оценки численности.

Оценка численности балобана в 2022 г. менее надёжна, чем по состоянию на 2010 г., так как мы имеем большое количество «нулевых» площадок. Поэтому мы имеем разницу в средних оценках численности, полученной разными методами, в 17 пар, при диапазоне от 33 до 50 пар (см. табл. 8). Как уже было отмечено выше, сокращение численности по площадкам, проверенным в 2010 и 2022 гг., составило 85,71%, но общая убыль населения с учётом новых пар по всей совокупности учётных площадок составила 59,09%. Разница в плотности гнездящихся пар на всех площадках в 2010 и в 2022 гг. позволяет говорить о сокращении численности балобана в диапазоне от 75,25 до 83,74% (в зависимости от того, на местообитания или гнездопригодные биотопы экстраполировать эти показатели плотности). Нормализованный по плотности показатель составляет -77%, который мы считаем базовым в оценке негативного тренда численности балобана за период с 2010 по 2012 гг.



Молодой балобан (вверху) и гнездовая скала балобана в Каратау. Фото И. Карякина.

*Juvenile Saker Falcon (upper) and Saker Falcon nesting cliff in Karatau (bottom). Photos by I. Karyakin.*

presence probability from 50 to 100% for the axial part of the Karatau (see Fig. 11). As noted above, all areas in the axial part of Karatau that are topographically similar to those of SF presence points, were classified as suitable for nesting without taking into account their remoteness from steppe depressions (valleys), that is, from the main SF feeding points.

We approached reduction in breeding biotopes areas simply by using masks of the buffer zones of steppe basins, digitized manually. However, for better automated modeling of the species distribution, it makes sense to consider including certain parameters that explain SF nest distribution relative to hunting territories in the model, for example, the height difference and the area of vegetation in clusters with minimal surface roughness within a radius of three km from SF presence points. The set of these variables will increase the load on the server and lengthen the process of image classification, but may reduce manual digitization.

We consider the estimated SF abundance obtained for Karatau and adjacent territories as of 2010 to be reliable. Extrapolation of nesting pairs density on plots to the total area of breeding biotopes and habitats, as well as



Гнездовая биология и фенология балобана в Каратау остаются слабоизученными. Согласно литературным данным, все гнёзда балобана, обнаруженные на исследуемой территории, располагались в верхней трети скал (5 гнёзд), преимущественно в нишах (4 гнезда из 7), реже на полках (2 гнезда) или расщелинах (1 гнездо), только для одного из 17 гнёзд, устроенном в Малом Каратау в нижней части ущ. Алмалысай, указан хозяин постройки – стервятник (Колбинцев, 1986; Денисов, 1995; Корелов, 2012; Губин, Белялов, 2017; Губин, 2018b; 2020). В кладках балобана, осмотренных в Каратау, находилось от 3 до 5 яиц, в среднем ( $n=4$ )  $4,25 \pm 0,96$  яиц (Колбинцев, 1986; Карякин, Барабашин, 2006; Губин, Белялов, 2017). Выводки балобана в Каратау и на прилегающих территориях состояли из 2–5 птенцов, в среднем ( $n=11$ )  $3,73 \pm 0,9$  птенцов (Денисов, 1995; Губин, Белялов, 2017; Губин, 2018b; 2020; наши данные). Доля успешных гнёзд от числа занятых в 2010 г. составила 60%, в 2022 г. – 50%, но в этой выборке часть гнёзд пустовала по причине отлова самок, а не гибели кладок или выводков по каким-либо причинам, поэтому истинный размер ежегодного отхода гнёзд, не связанный с браконьерством, остаётся неизвестным.

Мы ничего не знаем о послегнездовых перемещениях балобанов каратауской популяции. Первые 4 птенца здесь были окольцованы нами в 2022 г., а трекерами птиц, гнездящихся в Каратау, до сих пор не метили. Миграция балобана через Каратау не выражена. В 1969–1978 гг. на Чокпакском стационаре в течение двух сезонов было отловлено всего 3 балобана, в 1986–1995 в течение 4-х сезонов – 9, причём рост числа отловленных птиц авторы связывают с увеличением в 1986 г. высоты одной из ловушек, в которую наиболее часто залетали балобаны, с 9 до 12 м (Гаврилов, 1997). За период наблюдения с 1982 по 2016 гг. на Чокпакском стационаре встречено 37 птиц, отловлено и окольцовано 15 соколов, сред-

RPG adjusted for spatial variables, yielded unexpectedly close average estimates of abundance – 202, 203, and 200 pairs, respectively. This is, on average, 16.11% greater than the abundance estimate made in the 2010 article (see Karyakin *et al.*, 2010). The reasons for the increase in the abundance estimate lie in the larger area of biotopes in Lesser Karatau and adjacent territories classified as suitable for breeding, according to the results of modeling SF distribution in 2022. This is directly related to the larger coverage of areas affected by counts in Lesser Karatau and Boraldai in 2022 and better modeling quality. Thus, in 2010 we estimated the area of habitats suitable for SF breeding and the number of SF breeding in Greater Karatau more or less correctly, but underestimated it in Lesser Karatau. Considering that density extrapolation taking into account null plots and RPG with adjustment for spatial variables give similar results, the probability of missing SF breeding territories in null plots is low and the species was absent there during the survey period. This means that SF density indicators obtained without taking into account null plots cannot be extrapolated to the area of breeding biotopes and/or habitats of the species in the Karatau, since they give overestimated numbers.

The estimate of SF abundance in 2022 is less reliable than in 2010, as we have a large number of null plots. Therefore, we have a difference of 17 pairs in the average abundance estimates obtained by different methods, with a range of 33 to 50 pairs (see Table 8). As noted above, the reduction in the number of plots surveyed in 2010 and 2022 was 85.71%, but the total population decline for the entire population of survey plots, taking into account new pairs, was 59.09%. The difference in the density of breeding pairs at all plots in 2010 and 2022 allows us to talk about a decrease in SF population in the range from 75.25% to 83.74% (depending on whether these density indicators are extrapolated to habitats or breeding biotopes). The density-normalized indicator is -77%, which we consider to be basic in assessing the negative trend in SF population over the period from 2010 to 2012.



*Балобан около гнезда в Каратау. Фото И. Карякина.*

*Saker Falcon near the nest in Kartau.  
Photo by I. Karyakin.*

няя дата осеннего пролёта 5 октября, самое раннее наблюдение – 31 августа 1987 г., само позднее – 8 ноября 1983 г. (Гаврилов и др., 2016). Весенний пролёт отмечен через восточную кромку Кызылкумов: 23 (2 особи) и 26 марта 1987 г., а также 8 и 28 марта 1988 г. наблюдались соколы, летевшие в северном и северо-восточном направлениях (Губин, Складенко, 2014). В зимний период балобан наблюдался в Каратау и на прилегающих территориях более или менее регулярно в 2003–2020 гг. (Ерохов, Белялов, 2004; Чаликова, 2005; 2006; Колбинцев, 2009; Губин, 2020; Амурекул и др., 2022), однако не совсем ясно, относятся ли эти встречи к местным птицам, или местные гнездящиеся птицы покидают территорию, а все зимние встречи приходится на мигрантов из Сибири, некоторая часть которых достоверно летит на зимовку в район Каратау (Бекмансуров и др., 2017; Карякин и др., 2018; Николенко и др., 2019).

### Заключение

В литературных источниках и на сайте birds.kz за последние 80 лет появилось около 160 наблюдений, описывающих присутствие балобана в горах Каратау и на прилегающих территориях. Более 50 из них – это гнездовые находки авторов данной статьи в разное время проведения исследований.

В XXI веке в горах Каратау и на прилегающих территориях было подтверждено гнездование более 60 пар балобана. Только за последние 12 лет численность балобана сократилась на 77% и оценивается в 2022 г. в 28–66, в среднем 46 пар. Масштабы сокращения численности балобана с начала 90-х гг. XX столетия могут быть куда более катастрофичными, так как к 2010 г. уже были переловлены для нужд арабской соколиной охоты практически все балобаны, гнездившиеся по периферии гор и близ трасс и крупных населённых пунктов. Такое масштабное сокращение численности балобана характерно для всего Тянь-Шаня и является «последствием массового разорения популяции, которое всё ещё продолжается, хотя и не в таких масштабах и не с такой скоростью, как 10–15 лет назад» (Ковшарь, 2019). Усугубила ситуацию с балобаном затяжная депрессия численности грызунов, длящаяся на Каратау с 2017–2018 по 2022 гг., которая, вероятно, затянется ещё на несколько лет и приведёт к ещё большему сокращению численности популяции соколов.

Необходим дальнейший ежегодный мониторинг состояния последних активных гнездовых участков балобана на Каратау



Гнездо балобана с птенцами на скале в горах Каратау. Фото И. Карякина.

Saker Falcon nest with nestlings on cliff in the Karatau mountains. Photos by I. Karyakin.

Nesting biology and phenology of SF in Karatau remain poorly studied. According to literature data, all SF nests found in the study area were located in the upper third of the rocks (5 nests), mainly in niches (4 nests out of 7), less often on shelves (2 nests) or crevices (1 nest). An original nest owner (Egyptian Vulture) was only identified for one of 17 nests arranged in Lesser Karatau in the lower part of Almalysay gorge (Kolbintsev, 1986; Denisov, 1995; Korelov, 2012; Gubin and Belyalov, 2017; Gubin, 2018b; 2020). SF clutches examined in Karatau contained from 3 to 5 eggs, on average ( $n=4$ )  $4.25 \pm 0.96$  eggs (Kolbintsev, 1986; Karyakin, Barabashin, 2006; Gubin, Belyalov, 2017). SF broods in Karatau and adjacent territories consisted of 2–5 nestlings, on average ( $n=11$ )  $3.73 \pm 0.9$  nestlings (Denisov, 1995; Gubin, Belyalov, 2017; Gubin, 2018b; 2020; our data). The share of successful nests among the number of occupied ones in 2010 was 60%, in 2022 – 50%, but in this sample, some nests were empty due to the capture of females, and not the death of clutches or broods for any reason, so the true size of the annual nests loss that is not associated with poaching remains unknown.

We do not know anything about post-breeding SF movements in the Karatau popu-

и прилегающих территориях. Уже сейчас очевидно, что балобан в регионе находится на грани вымирания. Без активного восполнения его популяцией и сохраняющемся прессе браконьерства балобана уже не спасти. Как показывает российская практика привлечения балобанов на размножение в искусственные гнездовья (см. Карякин и др., 2022b), этот сокол, благодаря своей пластичности и высокой продуктивности при достатке кормов, может быстро восстанавливать популяцию даже на фоне избыточного прессинга. Поэтому для спасения балобана в Каратау и на прилегающих территориях актуальной выглядит программа выпуска соколов, выращенных в питомнике, методом «хеккинга», сопряжённая с созданием системы искусственных гнездовий, имитирующих «хеки», через которые соколы выпускаются в природу. Пока вокруг Каратау сохраняются изолированные популяции жёлтого суслика и песчанки, этим можно воспользоваться для формирования резерва свободных особей, которые будут способствовать восстановлению соколов в Каратау, когда там начнётся рост численности грызунов.

Уровень сокращения численности балобана показывает, что действующих мер по протростоянию браконьерству недостаточно. Государственным структурам необходимо незамедлительно усилить охранные мероприятия, пока самый крупный сокол Казахстана не исчез полностью.

### Благодарности

Полевые работы в 2010 г. выполнялись при финансовой поддержке Международного консультационного агентства по дикой природе (IWC, UK)<sup>37</sup>. Работы 2022 г. выполнены при поддержке Фонда сохранения видов Тревор Поызера (Trevor Pouyer Species Conservation Fund) через Орнитологическое общество Ближнего Востока (OSME)<sup>38</sup>, Фонда ГГФ (Global Greengrants Fund)<sup>39</sup>, Фонда сотрудничества для сохранения экосистем, находящихся в критическом состоянии / The Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF)<sup>40</sup>, а также организации-партнёра Проект «Алтай» / The Altai Project (США)<sup>41</sup> в рамках проекта «Сохранение уязвимых видов пернатых хищников на Индо-Палеарктическом миграционном пути» (“Endangered Raptors Conservation on the Indo-Palaearctic Migration Flyway”).

Авторы благодарят Анатолия Левина и Андрея Коваленко, участвовавших в поле-

vation. We ringed the first four nestlings here in 2022. Birds nesting in Karatau have not been tagged with trackers to date. SF migration through Karatau is not expressed. Only three SFs were caught during two seasons in 1969–1978, nine were caught during four seasons in 1986–1995. An increase in the number of birds caught by the authors is associated with an increase in the height of one of the traps from 9 up to 12 m in 1986, into which SFs most often flew (Gavrilov, 1997). During the observation period from 1982 to 2016, 37 birds were encountered at Chokpak station, 15 falcons were captured and ringed; the average date of autumn migration is October 5, the earliest observation was on August 31, 1987, and the latest was on November 8, 1983 (Gavrilov *et al.*, 2016). Spring migration through the eastern edge of the Kyzylkum was recorded on March 23 (two individuals), March 26, 1987, and also on March 8 and 28, 1988; SFs were observed flying in northern and northeastern directions (Gubin, Sklyarenko, 2014). In winter, SF was observed in the Karatau and adjacent areas more or less regularly in 2003–2020 (Erokhov and Belyalov, 2004; Chalikova, 2005; 2006; Kolbintsev, 2009; Gubin, 2020; Amirekul *et al.*, 2022), but it is unclear whether these sightings refer to local birds, or local nesting birds leave the territory, and all winter sightings are migrants from Siberia, some of which reliably fly to the Karatau region for wintering (Bekmansurov *et al.*, 2017; Karyakin *et al.*, 2018; Nikolenko *et al.*, 2019).

### Conclusion

Over the past 80 years, about 160 observations have appeared in literary sources and on the birds.kz website, describing the presence of Saker Falcons in the Karatau mountains and adjacent territories. More than 50 of them are nesting finds of the authors of this article at different times of the research.

Over 60 pairs of Saker Falcons have been confirmed to nest in the Karatau mountains and adjacent areas in the 21<sup>st</sup> century. Over the past 12 years alone, Saker Falcon abundance has decreased by 77% and is estimated at 28–66 pairs in 2022, with an average of 46 pairs. The scale of the Saker Falcon population decline since the early 1990s is possibly more than catastrophic, since by 2010 almost all Saker Falcons that nested along the periphery of the mountains and near roads and large settlements had already been caught for the needs

<sup>37</sup> <http://www.falcons.co.uk>

<sup>38</sup> <http://osme.org>

<sup>39</sup> <http://www.greengrants.org>

<sup>40</sup> <http://www.cepf.net>

<sup>41</sup> <http://www.altaiproject.org>

<sup>42</sup> <http://www.facebook.com/brcckz>

вых работах 2010 г., директора Общественного фонда «Центр изучения и сохранения биоразнообразия» (BRCC)<sup>42</sup> Нурлана Онгарбаева за организацию экспедиции в Казахстане и всестороннюю моральную поддержку, участников полевых работ: Нурума Сагалиева, Дау Лал Бохра, Кордиана Бартошук и Александра Милежика, а также водителя Бауыржана Утебаева за вождение в сложных условиях. Отдельная благодарность Татьяне Челнаковой и Дженнифер Кастнер за перевод текста статьи на английский и его редакцию.

## Литература / References

Амирекул К., Вильев А., Губин Б., Исабеков А., Нукусбеков М., Пестов М. Балобан *Falco cherrug* (Gray, 1834). [Amirekul K., Vilyaev A., Gubin B., Isabekov A., Nukusbekov M., Pestov M. Saker Falcon *Falco cherrug* (Gray, 1834).] – Kazakhstan birdwatching community. 2022.] URL: <https://birds.kz/v2taxgal.php?s=124> Дата обращения: 25.11.2022.

Бекмансуров Р.Х., Карякин И.В., Бабушкин М.В., Левашкин А.П., Пчелинцев В.Г. Результаты работы Центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2016 году. — Пернатые хищники и их охрана. 2017. № 35. С. 26–50. [Bekmansurov R.H., Karyakin I.V., Babushkin M.V., Levashkin A.P., Pchelintsev V.G. Results of Work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2016. – Raptors Conservation. 2017. 35: 26–50. ] DOI: 10.19074/1814-8654-2017-35-26-50 URL: <http://rrcc.ru/ru/archives/30040> Дата обращения: 25.11.2022.

Гаврилов Э.И. Мониторинг численности некоторых видов хищных птиц на осеннем пролете в предгорьях Западного Тянь-Шаня. – Селевиния. 1997. Том 4–5. С. 134–142. [Gavrilov E.I. Monitoring of the number of some species of birds of prey on the autumn migration in the foothills of the Western Tien Shan. – Selevinia. 1995. 4–5: 134–142. (in Russian).] URL: [http://backend.selevinia.kz/storage/archives\\_files/aWE5ZpYxN-qnpri7vxcANg8wCQNJWfWmAA74xqeEXe.pdf](http://backend.selevinia.kz/storage/archives_files/aWE5ZpYxN-qnpri7vxcANg8wCQNJWfWmAA74xqeEXe.pdf) Дата обращения: 25.11.2022.

Гаврилов А.Э., Абаев А.Ж., Зарипова С.Х. Материалы по срокам пролёта и численности мигрантов на Чокпакском перевале (предгорья Западного Тянь-Шаня) в период 1982–2016 гг. – Селевиния. 2016. С. 201–208. [Gavrilov A.E., Abaev A.Zh., Zaripova S.Kh. Materials on the dates of migration and number of birds on Chokpak pass (West Tien Shan foothills) in 1982–2016. – Selevinia. 2016: 201–208. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/04/selevinia-2016-issn.pdf#page=207> Дата обращения: 25.11.2022.

Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть: Учебник для студентов географических факультетов университетов. М., Мысль, 1978. 512 с. [Gvozdetsky N.A., Mikhailov N.I. Physical Geography of the USSR. Asian part: A textbook for students of geographical faculties of universities. Moscow, 1978: 1–512. (in Russian).] URL: [https://elementy.ru/catalog/6664/Gvozdetskiy\\_N\\_A\\_Mikhailov\\_N\\_I\\_Fizicheskaya\\_geografiya\\_SSSR\\_Aziatskaya\\_chast\\_tapemark\\_narod\\_ru\\_geograf](https://elementy.ru/catalog/6664/Gvozdetskiy_N_A_Mikhailov_N_I_Fizicheskaya_geografiya_SSSR_Aziatskaya_chast_tapemark_narod_ru_geograf) Дата обращения: 25.11.2022.

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 а: 1–289. (in Russian).] URL: [https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/01/book-2\\_bg-1.pdf](https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/01/book-2_bg-1.pdf) Дата обращения: 25.11.2022.

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.

of Arabian falconry. Such a large-scale decline in Saker Falcon abundance is typical for the entire Tien Shan and is “a consequence of the mass destruction of the population, which is still ongoing, although not on such a scale and not at the same speed as 10–15 years ago” (Kovshar, 2019). The situation with Saker Falcons was aggravated by a protracted depression in the number of rodents, lasting in Karatau from 2017–2018 to 2022, which is likely to drag on for several more years and lead to an even greater reduction in the population of falcons.

Further annual monitoring of the state of the last active nesting sites of Saker Falcon in Karatau and adjacent territories is required. It is already obvious that the Saker Falcon in the region is on the verge of extinction. Without active replenishment of its population, with the continuing pressure of poaching, the Saker Falcon can no longer be saved. As the Russian practice of attracting Saker Falcons for breeding in artificial nests (see Karyakin *et al.*, 2022b) shows, this falcon, due to its plasticity and high productivity with sufficient food, can quickly restore the population even against the background of excessive pressure. Therefore, in order to save the Saker Falcon in Karatau and adjacent territories, a program known as hacking needs be developed for releasing falcons bred in the nursery using the “hacking” method, associated through the creation of a system of artificial nests imitating “hakes” through which falcons are released into nature. As long as isolated populations of Yellow Ground Squirrel and gerbil remain around Karatau, this can be used to form a reserve of free individuals that will contribute to the restoration of SF population in Karatau when the growth of the number of rodents begins there.

The level of decline in Saker Falcon abundance shows that the current measures to prevent poaching are not enough. State structures need to immediately strengthen security measures before the largest falcon in Kazakhstan will disappear completely.

## Acknowledgements

Field work in 2010 was carried out with the financial support of the International Wildlife Consultants Ltd. (IWC, UK)<sup>37</sup>. The 2022 work was supported by the Trevor Poyser Species Conservation Fund through the Ornithological Society of the Middle East The Caucasus And Central Asia (OSME)<sup>38</sup>, the Global Green-grants Fund<sup>39</sup>, The Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF)<sup>40</sup>, as well as the partner organization The Altai Project (USA)<sup>41</sup> as part of the “Endangered Raptors Conservation on the Indo-Palaearctic Migration Flyway”.

The authors thank Anatoly Levin and Andrey Kovalenko, who participated in the field work in 2010, Nurlan Ongarbayev, Director of the Biodiversity Research and Conservation Center Community Trust (BRCC)<sup>42</sup>, for organizing the expedition in Kazakhstan and providing all-round moral support, participants in the field work: Nurum Sagaliyev, Dau Lal Bohra, Kordian Bartoszuk and Alexander Milezhik, and driver Bauyrzhan Utebayev for driving in difficult conditions. Special thanks to Tatyana Chelnakova and Jennifer Castner for translating the article into English and editing it.



2018 b. 27(1647): 3627–3651. (in Russian.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ptitsy-beltau> Дата обращения: 25.11.2022.

Губин Б.М. Птицы пустынь Казахстана. Кн. 3. Алматы: ТОО «SpringR», 2020. 359 с. [Gubin B.M. Birds of the deserts of Kazakhstan. Vol. 3. Almaty: LLP “SpringR”, 2020: 1–359. (in Russian.)] URL: [https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/01/book-3\\_electron\\_.pdf](https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/01/book-3_electron_.pdf) Дата обращения: 25.11.2022.

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/ornitvestn-kz-sa-4-2017.pdf#page=89> Дата обращения: 25.11.2022.

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: 25.11.2022.

Губин Б.М., Склярченко С.А. Птицы восточной кромки пустыни Кызылкум – Орнитологический вестник Казахстана и Средней Азии. Вып. 3. 2014. С. 84–134. [Gubin B.M., Sklyarenko S.L. Birds of the Eastern Edge of the Kyzylkum Desert – Ornithological Bulletin of Kazakhstan and Central Asia. 2014. 3: 84–134. (in Russian.)] URL: <https://www.acbk.kz/elfinder/files/Data%20zone/ACBK%20publikaciyi%20Nauchnie%20publikacii/Pticy%20vostochnoj%20kromki%20pustyni%20Kyzylkum.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

Денисов И.А. Находки гнезд балобана на юге Чимкентской области. – Селевиния. 1995. Том 3, вып. 1. С. 75. [Denisov I.A. Saker Falcon nests found in the south of the Chimkent region. – Selevinia. 1995. 3(1): 75. (in Russian.)] URL: [http://backend.selevinia.kz/storage/archives/\\_les/ZkXUY9mKe7RjDb8Z2e6YYaj3E-0BqzVMg05Dsmf0E.pdf](http://backend.selevinia.kz/storage/archives/_les/ZkXUY9mKe7RjDb8Z2e6YYaj3E-0BqzVMg05Dsmf0E.pdf) Дата обращения: 25.11.2022.

Ерохов С.Н., Белялов О.В. Учеты зимующих птиц на водоемах Южного Казахстана в декабре 2003 г. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2003. Алматы: «Tethys», 2004. С. 109–111. [Erokhov S.N., Belyalov O.V. Records of wintering birds on the water bodies of South Kazakhstan in December 2003. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2003. Almaty: “Tethys”, 2004: 109–111. (in Russian.)] URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/2332f1.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

Жемчужников В.Г., Ергалиев Г.Х. Геология осадочных бассейнов хребта Каратау (Южный Казахстан). – Известия НАН РК. Серия геологическая. 2010. № 1. С. 4–23. [Zhemchuzhnikov V.G., Ergaliev G.Kh. Geology of sedimentary basins of the Karatau Ridge (South Kazakhstan). – News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology. 2010. 1: 4–23. (in Russian.)] URL: <http://nblib.library.kz/elib/library.kz/journal/Zhemshujnikov.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

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://rrrcn.ru/en/archives/11151> Дата обращения: 25.11.2022.

Карякин И.В. Методические рекомендации по организации мониторинга сокола-балобана в Алтае-Саянском эко-

регионе. Красноярск, 2010. 122 с. [Karyakin I.V. Manuals for organizing the monitoring of the Saker Falcon populations in the Altai-Sayan Ecoregion. Krasnoyarsk, 2010: 1–122. (in Russian.)] URL: <http://rrrcn.ru/en/archives/11165> Дата обращения: 25.11.2022.

Карякин И.В. Орлы России и Казахстана: места обитания и зоны электросетевой опасности. Новосибирск: Сибэкоцентр, 2016. 36 с. [Karyakin I.V. Eagles of Russia and Kazakhstan: ranges and electric-grid danger zones. Novosibirsk: Sibecocenter, 2016: 1–36. (in Russian.)] URL: <http://rrrcn.ru/archives/26593> Дата обращения: 25.11.2022.

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: 25.11.2022.

Карякин И.В., Книжков 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 а. 44: 96–187.] DOI: 10.19074/1814-8654-2022-44-96-187 URL: <http://rrrcn.ru/archives/34648> Дата обращения: 25.11.2022.

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/archives/24919> Дата обращения: 25.11.2022.

Карякин И.В., Левин А.С., Коваленко А.В. Балобан в горах Каратау, Казахстан. – Пернатые хищники и их охрана. 2010. № 19. С. 152–163. [Karyakin I.V., Levin A.S., Kovalenko A.V. Saker Falcon in the Karatau Mountains, Kazakhstan. – Raptors Conservation. 2010. 19: 152–163.] URL: <http://rrrcn.ru/archives/19338> Дата обращения: 25.11.2022.

Карякин И.В., Левин А.С., Мошкин А.В., Николенко Э.Г. Балобан в России и Казахстане. XIV орнитологическая конференция Северной Евразии / Ред.: А.Ф. Ковшарь, В.М. Галушин, Ф.Я. Дзержинский, Н.В. Зеленков, М.В. Калякин, В.А. Паевский, Э.А. Рустамов, А.В. Белоусова. II Доклады. 2015. С. 473–530. [Karyakin I.V., Levin A.S., Moshkin A.V., Nikolenko E.G. Saker Falcon in Russia and Kazakhstan. – XIV International Ornithological Conference of Northern Eurasia / A.F. Kovshar, V.M. Galushin, F.Y. Dzerzhinskiy, N.V. Zelenkov, M.V. Kalyakin, V.A. Payevskiy, E.A. Rustamov, A.V. Belousova (Eds.). II. Oral presentations. Almaty, 2015: 473–530. (in Russian.)] URL: <http://rrrcn.ru/archives/25433> Дата обращения: 25.11.2022.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Проммер М. Результаты GPS/GSM-трекинга ювенильных балобанов в Алтае-Саянском регионе. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. № 37. С. 166–229. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Prommer M. Results of the GPS/GSM-tracking of Juvenile Saker Falcons in the Altai-Sayan Region. – Raptors Conservation. 2018. 37: 166–229.] DOI: 10.19074/1814-8654-2018-37-166-229 URL: <http://rrrcn.ru/archives/31240> Дата обращения: 25.11.2022.

Карякин И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Ширяев О.В. Искусственные гнездовья для балобана в условиях горной степи Южной Сибири – гнездовые платформы или ящики? – Пернатые хищники и их охрана. 2022 г. № 44. С. 68–95. [Karyakin I.V., Nikolenko E.G., Shnayder E.P., Shiryaev O.V. Artificial nests for the Saker Falcon in mountainous steppes of Southern Siberia – platforms or nestboxes? – Raptors Conservation. 2022 г. 44: 68–95.] DOI: 10.19074/1814-8654-2022-44-68-95 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/34637> Дата обращения: 25.11.2022.

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](https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/10/kovsharj_1966.pdf) Дата обращения: 25.11.2022.

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. Краткое сообщения о балобане. – Редкие животные Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1986. С. 163. [Kolbintsev V.G. Short report about the Saker Falcon. – Rare animals of Kazakhstan. Alma-Ata: Nauka, 1986: 163. (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: 25.11.2022.

Колбинцев В. Г. О зимовках некоторых видов птиц в центральной части города Тараза. – Казахстанский орнитологический бюллетень 2008. Алматы: «Tethys», 2009. С. 242–244. [Kolbintsev V.G. On the wintering of some bird species in the central part of the city of Taraz. – Kazakhstan Ornithological Bulletin 2008. Almaty: "Tethys", 2009: 242–244. (in Russian).] URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/7ecea1.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

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](http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/03/birds-of-kazakhstan_2_gavrin1962_ptitsy_kazakh_2.djvu) Дата обращения: 25.11.2022.

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-СОПКАСБК, 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. Rustomov, 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](http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/2014/12/sbornik_Korelov.pdf#page=17) Дата обращения: 25.11.2022.

Кучерук В.В. Избранные труды. М.: Т-во научных изданий КМК. 2006. 523 с. [Kucheruk V.V. Selected Works. Moscow, 2006: 1–523. (in Russian).] URL: [http://ashipunov.me/shipunov/school/books/kucheruk2006\\_izbrannye\\_trudy.djvu](http://ashipunov.me/shipunov/school/books/kucheruk2006_izbrannye_trudy.djvu) Дата обращения: 25.11.2022.

Левин А.С. Балобан *Falco cherrug* Gray, 1834. – Красная книга Республики Казахстан. Изд. 4-е, переработанное и дополненное. Том I.: Животные; Часть 1: Позвоночные / Ред.: А.М. Мелдебеков, М.Х. Байжанов, А.Б. Бекенов, А.Ф. Ковшарь. Алматы, «DPS», 2010. С. 146–147. [Levin A.S. Saker Falcon *Falco cherrug* Gray, 1834. – 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: 146–147. (in Kazakh and Russian).] URL: [https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/02/red-data-book-rk\\_v1\\_1\\_2010.pdf](https://zool.kz/wp-content/uploads/2021/02/red-data-book-rk_v1_1_2010.pdf) Дата обращения: 25.11.2022.

Левин А.С., Карякин И.В., Коваленко А.В. Балобан на юге Казахстана и перспективы его сохранения. – Материалы Международной научной конференции «Зоологические исследования за 20 лет независимости Республики Казахстан» посвящённой 20-летию независимости Республики Казахстан, 22–23 сентября 2011 г. / Ред.: А.М. Мелдебеков, М.Х. Байжанов, А.Ф. Ковшарь, А.Б. Бекенов, П.А. Тлеубердина, В.Л. Казенас, И.Н. Магда, З.З. Саякова Алматы, 2011. С. 254–256. [Levin A.S., Karyakin I.V., Kovalenko A.V. Saker Falcon in the south of Kazakhstan and prospects for its conservation. – Zoological Researches of the 20 years of independence of Republic of Kazakhstan: Materials of the International Scientific Conference devoted to the 20 years of independence of Republic of Kazakhstan. On September, 22–23, 2011 / A.M. Meldebekov, M.Kh. Baizhanov, A.F. Kovshar, A.B. Bekenov, P.A. Tleuberdina, V.L. Kazenas, I.N. Magda, Z.Z. Sajakova (Eds.). Almaty, 2011: 254–256. (in Russian).] URL: [https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/01/2011-konferenciya\\_institut-zoologii.pdf#page=254](https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/01/2011-konferenciya_institut-zoologii.pdf#page=254) Дата обращения: 25.11.2022.

Матюхин А.В. Многолетние изменения авифауны Дарбазинского сая в Южном Казахстане (реакция птиц на смену экологических реалий). – Орнитологические исследования в Северной Евразии / Ред. Е.Н. Курочкин, В.М. Галушин, Н.В. Зеленков, Е.А. Коблик, А.Ф. Ковшарь, В.В. Конторщиков, К.Е. Литвин, В.Н. Мельников, А.Л. Мищенко, А.А. Недосекин, В.А. Паевский, В.К. Рябицев, А.Н. Хохлов, Н.С. Чернецов. Ставрополь, 2006: 337–339. [Matyukhin A.V. Long-term changes in the avifauna of the Darbazinsky sai in South Kazakhstan (the reaction of birds to the change in environmental realities). – Ornithological research in Northern Eurasia / E.N. Kurochkin, V.M. Galushin, N.V. Zelenkov, E.A. Koblik, A.F. Kovshar, V.V. Kontorshchikov, K.E. Litvin, V.N. Melnikov, A.L. Mishchenko, A.A. Nedosekin, V.A. Paevsky, V.K. Ryabitsev, A.N. Khokhlov, N.S. Chernetsov (Eds.). Stavropol, 2006: 337–339. (in Russian).]

Мильков Ф.Н. Природные зоны СССР. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Мысль, 1977. 293 с. [Milkov F.N. Natural zones of the USSR. Second edition. Moscow, 1977: 1–293. (in Russian).] URL: [https://www.studmed.ru/milkov-f-n-prirodnye-zony-sssr\\_298f8e4fb8d.html](https://www.studmed.ru/milkov-f-n-prirodnye-zony-sssr_298f8e4fb8d.html) Дата обращения: 25.11.2022.

Национальный атлас Республики Казахстан. Том 1: Природные условия и ресурсы. Алматы, 2010. 150 с. [The National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Vol. 1: Natural conditions and resources. Almaty, 2010: 1–150. (in Russian).]

Николенко Э.Г. Обзор «соколиных» задержаний и уголовных дел по ним в России и странах ближнего зарубежья. – Пернатые хищники и их охрана. 2018. № 36. С. 24–43. [Nikolenko E.G. Overview of criminal cases concerning illegal

withdrawal of wild falcons and related prosecutions in Russia and neighboring countries. – *Raptors Conservation*. 2018. 36: 24–43. DOI: 10.19074/1814-8654-2018-36-24-43 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/30505> Дата обращения: 25.11.2022.

Николенко Э.Г., Карякин И.В., Шнайдер Е.П., Бабушкин М.В., Бекмансуров Р.Х., Зиневич Л.С., Китель Д.А., Пуликова Г.И., Пчелинцев В.Г., Хлопотова А.В., Шершнева М.Ю. Результаты работы центра кольцевания хищных птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников в 2018 году. – *Пернатые хищники и их охрана*. 2019. № 39. С. 8–33. [Nikolenko E.G., Karyakin I.V., Shnyder E.P., Babushkin M.V., Bekmansurov R.H., Zinevich L.S., Kite D.A., Pulikova G.I., Pchelintsev V.G., Khlopotova A.V., Shershnev M.Yu. Results of Work of the Raptor Ringing Center of the Russian Raptor Research and Conservation Network in 2018. – *Raptors Conservation*. 2019. 39: 8–33. DOI: 10.19074/1814-8654-2019-39-8-33 URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33103> Дата обращения: 25.11.2022.

Равкин Ю.С., Богомолова И.Н., Николаева О.Н., Железнова Т.К. Районирование Северной Евразии по фауне наземных позвоночных и классификация их по сходству распространения. – *Сибирский экологический журнал*. 2014. 21(2): С. 163–181. [Ravkin Yu.S., Bogomolova I.N., Nikolaeva O.N., Zheleznova T.K. Faunal Zoning of Northern Eurasia and Classification of Terrestrial Vertebrates by Similarity of Distribution. – *Contemporary Problems of Ecology*. 2014. 21(2): 163–181. (in Russian.) URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/9a8/9a8cc3d1d14789ba797804d6f807c317.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

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: 25.11.2022.

Республика Казахстан. Том 1: Природные условия и ресурсы / Под ред. А.Н. Искакова, А.Р. Медеу. Алматы, 2006. 506 с. [The Republic of Kazakhstan. Vol. 1: Natural conditions and resources / A.N. Isakov, A.R. Medeu (Eds.). Almaty, 2006: 1–506. (in Russian.)]

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: 25.11.2022.

Скляренко С.Л., Шмидт И.Н. Наблюдения за птицами Таласского Алатау в 2007 г. – *Казахстанский орнитологический бюллетень* 2007. Алматы: «Tethys», 2008. С. 56–61. [Sklyarenko S.L., Schmidt I.N. Bird observations in Talas Alatau in 2007. – *Kazakhstan Ornithological Bulletin* 2007. Almaty: “Tethys”, 2008: 56–61. (in Russian.) URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/523cb1.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

События. – *Пернатые хищники и их охрана*. 2018 а. № 36. С. 3–23. [Events. – *Raptors Conservation*. 2018 а. 36: 3–23.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/30497> Дата обращения: 25.11.2022.

События. – *Пернатые хищники и их охрана*. 2018 б. № 37. С. 3–14. [Events. – *Raptors Conservation*. 2018 б. 37: 3–14.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/31195> Дата обращения: 25.11.2022.

События. – *Пернатые хищники и их охрана*. 2020. № 41. С. 3–25. [Events. – *Raptors Conservation*. 2020. 41: 3–25.] URL: <http://rrrcn.ru/ru/archives/33841> Дата обращения: 25.11.2022.

Чаликова Е.С. Интересные встречи птиц в заповеднике Аксу-Джабаглы в 2004 г. – *Казахстанский орнитологический бюллетень* 2004. Алматы: «Tethys», 2005. С. 53–55. [Chalikova E.S. Interesting bird sightings in the Aksu-Dzhabagly nature reserve in 2004. – *Kazakhstan Ornithological Bulletin* 2004. Almaty: “Tethys”, 2005: 53–55. (in Russian.) URL: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/388531.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

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: <http://zool.kz/wp-content/uploads/2020/05/4dd871.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.

Чаликова Е.С. Орнитофауна Ирсу-Машатского участка Сайрам-Угамского национального парка. – *Selevinia*. 2008. С. 171–177. [Chalikova E.S. Avifauna of the Irsu-Mashat section of the Sairam-Ugam National Park. – *Selevinia*. 2008: 171–177. (in Russian.) URL: <https://zool.kz/wp-content/uploads/2022/01/selevinia-2008-issn.pdf#page=172> Дата обращения: 25.11.2022.

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: 25.11.2022.

Badger J., Bauwens I., Casso P., Davis N., Hahmann A., Hansen S.B.K., Hansen B.O., Heathfield D., Knight O.J., Lacave O., Lizzano 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: 25.11.2022.

BirdLife International. *Falco cherrug*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T22696495A204182473. 2021. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22696495A204182473.en. URL: <https://www.iucnredlist.org/species/22696495/204182473> Дата обращения: 25.11.2022.

Brotans 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: 25.11.2022.

Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B., Birch T., Hyde S.B., Mazzariello J., Czerwinski W., Pasquarella V.J., Haertel R., Ilyushchenko S., Schwehr K., Weisse M., Stolle F., Hanson C., Guinan O., Moore R., Tait A.M. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. – *Scientific Data*. 2022. 9: 251. DOI: 10.1038/s41597-022-01307-4 URL: <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01307-4> Дата обращения: 25.11.2022.

Brownlee J. Machine Learning Evaluation Metrics in R. R Machine Learning. 2016. URL: <https://machinelearningmastery.com/machine-learning-evaluation-metrics-in-r/> Дата обращения: 25.11.2022.

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: 25.11.2022.

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](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD13A1) Дата обращения: 25.11.2022.
- Dormann F., McPherson C.M., Araújo J.B., Bivand M., Bolliger 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: 25.11.2022.
- 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: 25.11.2022.
- 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: 25.11.2022.
- 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-presence-absence-models/FFA0880CE-3C3591A5906B83C04727F46> Дата обращения: 25.11.2022.
- 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:SMIETF]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: 25.11.2022.
- Jenness, J. Nearest features (nearfeat.avx) extension for ArcView 3.x, v. 3.8a. – Jenness Enterprises. 2004. URL: [http://www.jenessent.com/arcview/nearest\\_features.htm](http://www.jenessent.com/arcview/nearest_features.htm) Дата обращения: 25.11.2022.
- Jenness, J. Random point generator (randpts.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3. Jenness Enterprises. 2005. URL: [http://www.jenessent.com/arcview/random\\_points.htm](http://www.jenessent.com/arcview/random_points.htm) Дата обращения: 25.11.2022.
- Kovacs A., Williams N.P., Galbraith C.A. Saker Falcon *Falco cherrug* Global Action Plan (SakerGAP), including a management and monitoring system, to conserve the species. Raptors MOU Technical Publication No. 2. CMS Technical Series No. 31. Coordinating Unit – CMS Raptors MOU, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2014: 1–206. URL: <https://www.cms.int/raptors/en/publication/saker-falcon-falco-cherrug-global-action-plan-sakergap> Дата обращения: 25.11.2022.
- Moore T.E., Bagchi R., Aiello-Lammens M.E., Schlichting C.D. Spatial autocorrelation inflates niche breadth–range size relationships. – *Global Ecology and Biogeography*. 2018. 27(12): 1426–1436. DOI: 10.1111/geb.12818 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.12818> Дата обращения: 25.11.2022.
- Muñoz Sabater J. ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). 2019. DOI: 10.24381/cds.68d2bb30 URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview> Дата обращения: 25.11.2022.
- 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](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_NASADEM_HGT_001) Дата обращения: 25.11.2022.
- Pearman P.B., D’Amen M., Graham C.H., Thuiller W., Zimmermann N.E. Within-taxon niche structure: Niche conservatism, divergence and predicted effects of climate change. – *Ecography*. 2010. 33(6): 990–1003. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2010.06443.x URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0587.2010.06443.x> Дата обращения: 25.11.2022.
- Roberts D.R., Bahn V., Ciuti S., Boyce M.S., Elith J., Guiller-Arroita G., Hauenstein S., Lahoz-Monfort 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: 25.11.2022.
- Sutton L.J., Puschendorf R. Climatic niche of the Saker Falcon *Falco cherrug*: predicted new areas to direct population surveys in Central Asia. – *Ibis*. 2020. 162: 27–41. DOI: 10.1111/ibi.12700 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ibi.12700> Дата обращения: 25.11.2022.
- 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: 25.11.2022.
- United States Environmental Protection Agency. Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for Use in Developing a Quality Assurance Project Plan EPA QA/G-5S. Washington, 2002: 1–166. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/g5s-final.pdf> Дата обращения: 25.11.2022.
- Valavi R., Elith J., Lahoz-Monfort J.J., Guiller-Arroita 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: 25.11.2022.
- 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., Ramoimo F., Arino O. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. DOI:10.5281/zenodo.5571936 URL: <https://zenodo.org/record/5571936> Дата обращения: 25.11.2022.
- 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: 25.11.2022.
- 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: 25.11.2022.