

пригодности участка. На участках с высоким рейтингом гнездования по площади преобладают пойменные биотопы.

Литература

- Мастеров В.Б., Романов М.С., 2014. Тихоокеанский орлан: экология, эволюция, охрана.- Москва: Товарищество научных изданий КМК.- 384 с.
- Романов М.С., 2001. Топические связи лесных хищных птиц в мозаике растительного покрова.- Автореферат диссертации к. б. н.- М.: МПГУ.- 23 с.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ueta M., Masterov V., 2000. Estimation by a computer simulation of population trend of Steller's Sea Eagles. – First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in Asia, 9-15 February 1999, Tokyo and Hokkaido, Japan. Wild Bird Society of Japan, Tokyo.- P.111–116.
-

Оценка качества местообитаний орланов с использованием беспилотных летательных аппаратов и ГИС-моделирования

Evaluation of the quality of sea eagle habitats using unmanned aerial vehicles and GIS modeling.

**В.Б. Мастеров¹, М.Ю. Пузаченко², М.С. Романов³,
О.Е. Рванцева⁴**

¹ *Московский гос. университет имени М.В. Ломоносова,*

² *Институт Географии РАН,*

³ *Институт математических проблем биологии РАН –
филиал Института прикладной математики
имени М.В. Келдыша РАН,*

⁴ *Московская государственная академия ветеринарной
медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина*

E-mail: haliaeetus@yandex.ru; puzak@bk.ru; romanov.eagle@gmail.com

Данная работа является продолжением нашей статьи «Некоторые характеристики местообитаний белоплечего орлана и их влияние на успешность гнездования» в настоящем сборнике.

Работу выполняли на модельной популяции белоплечего орлана (*Haliaeetus pelagicus*) в Нижнем Приамурье. В районе исследований по состоянию на 2018 г. насчитывалось 287 гнездовых участков. С помощью дронов DJI Phantom 4Pro и Mavic Pro Platinum обследовано 133 гнездовых участка орланов, для 80 из них определены характеристики растительности и биотопов путем дешифровки аэрофотоснимков.

Полученные результаты дешифровки аэрофотоснимков использовали в качестве обучающей выборки для интерполяции на всю территорию модельного региона площадью 6965 км². За основу брали спутниковый снимок Sentinel 2017 г. с разрешением 10 м в пикселе и покрытием, охватывающим весь район исследований.

ГИС-анализ выполняли в среде MapInfo и Qgis, анализ данных дистанционного зондирования земли (ДДЗ) производился в Arcgis. Статистический анализ производился в среде R версии 3.5.3 (R Core Team, 2019) и пакете SPSS.

Интерполяция **типов наземного покрова** осуществлялась в пошаговом дискриминантном анализе. Относительное качество анализа > 78% показывает высокий уровень соответствия полученной модели исходным данным.

Таким образом проведено разделение территории по типам наземного покрова (леса, кустарники, заболоченные территории, поймы, открытые пространства, водоемы и отмели). Полученная модель наземного покрова легла в основу расчета вероятностей нахождения гнездовых участков орланов для всей изучаемой территории.

Вероятность наличия гнездового участка определялась на основе дискриминантного анализа признаков наличия / отсутствия гнездовых участков. Исходно, территории, где были обнаружены гнездовые участки, определяли как их наличие, вся остальная территория – как территории с отсутствием гнездовых участков.

Иными словами, мы рассматривали совокупности пикселей на спутниковом снимке отнесенных и не отнесенных к гнездовым участкам. Распределение яркостей по каналам ДДЗ для гнездовых участков достоверно отличается от такового для всей остальной территории. Для каждого класса было построено распределение, а далее для каждого пикселя, в зависимости от дистанции до центров этих распределений, рассчитывали вероятности их принадлежности к классу наличия или отсутствия гнездового участка, т.е. выполняли корректировку исходной классификации. Качество дискриминантного анализа составило около 70%.

Чтобы еще больше повысить точность модели и выделить территории наиболее благоприятные для гнездования, была выполнена **дифференциация территории по рейтингу гнездования (РГ)** (см. вторую нашу статью в этом сборнике). Точность этой модели оказалась невысокой – 47%, поэтому за основу брали предыдущую модель вероятности нахождения гнездового участка.

Заметно тяготение гнездовых участков с высоким РГ к долинам и дельтам рек, а также протокам амурской поймы, при снижении доли

лесов и кустарников. Иными словами, поймы рек с развитой дельтой значительно повышают качество гнездовых участков.

Таблица

Результаты классификации гнездовых участков по результатам дискриминантного анализа

Исходная классификация	Гнездовой участок	Предсказанная принадлежность к группе		Всего
		0	1	
Количество пикселей	0	12589059	4858759	17447818
	1	4696	10890	15586
%	0	72,2	27,8	100,0
	1	30,1	69,9	100,0

Примечание: 0 – отсутствие участка, 1 – наличие участка.

Однако эти модели не учитывали пространственный фактор, т.е. удаленность гнезд от кормового водоема. Птицы стремятся гнездиться как можно ближе к береговой линии (75% гнезд располагаются не далее 500 м от воды, в среднем 64,8 м, n=1155). Поэтому в качестве пригодной для гнездования территории мы рассматривали буфер шириной до 1 км от береговой линии водоемов (озер, проток, русла реки Амур). В пределах этой площади выделяли территории с высокой вероятностью (0.75-0.99) наличия гнездовых участков. Для этих участков определяли распределение типов наземного покрова в целом и в зависимости от группы РГ.

Несмотря на обширные пространства с развитой гидросетью, площадь территорий с высокой вероятностью наличия гнездового участка в пределах километрового буфера (1270 км²) составила: для вероятности 0,75 – 11% (140 км²), для 0,90 – 1,04% (13,21 км²), для 0,95 – 0,20% (2,54 км²). Для них преобладают, помимо водных объектов, леса и, в меньшей степени, кустарники и поймы.

Согласно полученным результатам имеет место дефицит пригодных для гнездования территорий. Гнездовая емкость местообитаний, по-видимому, близка к насыщению даже при условии избыточного количества половозрелых птиц. Поэтому количество гнездовых участков остается практически неизменным на протяжении десятилетий.

Но не только характеристики ландшафта или растительного покрова влияют на качество гнездовых участков. Большое влияние оказывает уровень воды в кормовых водоемах, связанных с руслом Амура, который может значительно меняться. Орланы предпочитают охотиться на водоемах с глубинами до 1,5 м. По всей видимости, это обеспечивает им большую доступность рыбы. Однако приуроченность

к мелководьям может оказаться «экологической ловушкой». Падение уровня иногда приводит к обсыханию охотничьих территорий. В годы значительного падения уровня воды средний вес добычи достоверно снижается ($R=0.59$, $p<0.005$) (Мастеров, 1992). Это может приводить к обострению конкуренции за пищу среди птенцов и проявлению сиблициды. При аномально высоком уровне снижается доступность добычи. В такие периоды достоверно уменьшается количество приносимой на гнездо пищи, что имеет аналогичные последствия.

Анализ динамики продуктивности (числа птенцов на территориальную пару) показал квадратичную зависимость от уровня воды. В годы с экстремально высоким или низким уровнем в начале лета продуктивность падает. Существует оптимальный уровень воды, при котором доля «активных» гнездовых участков и, соответственно продуктивность популяции максимальна (рис.1).

Однако профиль дна водоемов (или разных участков крупных озер) существенно различается. Одни из них мелководные и могут почти полностью обсыхать, другие относительно глубокие и падение уровня сказывается для орланов положительно, т.к. повышается доступность рыбы. Ряд гнездовых участков расположен на русле Амура с большими глубинами. Снижение уровня на 1-2 метра принципиально не меняет основную тактику охоты птиц – подкарауливание проплывающей по течению добычи.

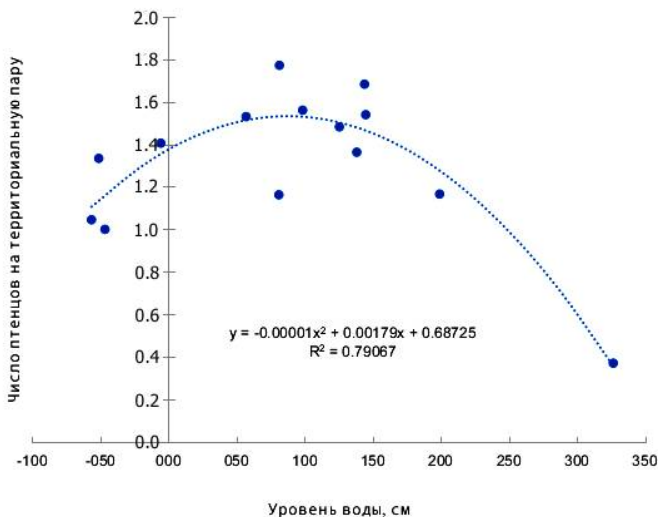


Рис. 1. Зависимость числа птенцов на территориальную пару от уровня воды в кормовом водоеме

Наиболее высокий многолетний рейтинг гнездования был на участках, расположенных на побережье малых озер и мелководных заливах больших озер. Малые озера лагунного типа, расположены в нескольких десятках метров от основного русла р. Амур и соединены с ним протоками. При любом уровне воды у птиц есть альтернатива: активная охота на мелководном озере или подстерегание добычи на русле Амура. Поэтому они в меньшей степени зависят от колебаний уровня и гнездование птиц на таких озерах более стабильное. Хотя мелководные заливы крупных озер способны почти полностью пересыхать, но в нормальную воду они представляют наиболее продуктивные охотничьи угодья, т.к. привлекают много рыбы, и она легко доступна для орланов. Плотность гнездования на побережье таких заливов увеличивается до 15 пар на 10 км береговой линии.

Поэтому в целом популяция орланов адаптирована к жизни в такой изменчивой среде. В одних условиях роль основных центров воспроизводства играют одни типы водоемов, в других – другие. Этим, на наш взгляд, объясняется низкая точность модели влияния характеристик местообитаний на рейтинг гнездования. Колебания уровня воды могут оказывать большее влияние на успешность гнездования, чем характеристики местообитаний.

Мы полагаем, что подобный метод анализа местообитаний редких видов, включающий цепочку от получения первичных характеристик местообитаний с помощью дронов, формирование на их основе представления об оптимальном сочетании ландшафтно-биотопических признаков, влияющих на выбор гнездового участка и успешность гнездования, и дальнейшая интерполяция результатов с помощью анализа ДДЗ в региональном масштабе является чрезвычайно перспективным в ландшафтной экологии.

Данный подход может быть использован для оценки численности популяций, выявления территорий, играющих ключевую роль для поддержания их устойчивости и потому нуждающихся в особой охране.

Статистический анализ данных проведен в рамках госзадания 0148-2019-0007.

Литература

- Мастеров В.Б., 1992. Экологическая энергетика и межвидовые отношения орланов *Haliaeetus albicilla*, *Haliaeetus pelagicus* на нижнем Амуре и острове Сахалин. - Диссертация к.б.н. - Москва, МГУ. - 157 с.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
-