

спереди от кроющих крыла, немного на лбу. Тёмные щёки неясно выражены. Начинают светлеть тёмные круги вокруг глаз.

34–40 дней. Птенец полностью в пере. Остатки пуха сохраняются на лбу, на груди, под крыльями. Тёмные щёки ясно выражены. Круги вокруг глаз становятся всё светлее. Птенцы отбегают от гнезда, начинают перелётывать.

35–39 дней. Птенец полностью оперён. Тёмное кольцо вокруг глаза становится светлым, почти белым за счёт появления мелких белых перьев на месте чёрных щетинок. Тёмные щёки хорошо выражены. Появляется своеобразная «маска» молодого луня с белыми кругами вокруг глаз и чёрными щеками. Птенцы летают в районе гнезда.

Таблица 4

**Размеры и масса тела птенцов лугового луня
в первом годовом наряде**

Возраст, дней	Самцы				Самки			
	Масса, г	Длина крыла, мм	Длина клюва, мм	Длина цевки, мм	Масса, г	Длина крыла, мм	Длина клюва, мм	Длина цевки, мм
26–29	300–340	200–230	12,0–12,6	51–55	270–390	235–260	13,2–13,6	53–57
34–40	–	–	–	–	270–400	260–280	13,2–13,6	53–60
35–39	–	–	–	–	330–430	270–290	13,2–13,7	53–60

Примечание: прочерк означает отсутствие данных.

Е. А. Мудрик, Д. В. Политов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЬЕВ В ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЖУРАВЛЕЙ

Резюме

Рассмотрены возможности применения перьев в качестве источника ДНК для анализа популяционно-генетической структуры красавки (*Anthropoides virgo*), серого (*Grus grus*) и даурского (*Antigone vipio*) журавлей в природе; мониторинга состояния генофонда искусственной популяции стерха (*Leucogeranus leucogeranus*) (контроль генетического разнообразия и скрещиваний, установление родства); определения пола и индивидуальной идентификации представителей всех видов журавлей в природе и центрах разведения.

USE OF FEATHERS IN POPULATION GENETIC STUDIES OF CRANES

Summary

The article considers the possibilities of use of feathers as a source of DNA in the analysis of the population genetic structure of the Demoiselle (*Anthropoides virgo*), Eurasian (*Grus grus*) and White-naped (*Antigone vipio*) cranes in nature; monitoring of the Siberian Crane (*Leucogeranus leucogeranus*) gene pool state in captivity (control of genetic diversity and breeding, kinship analysis); sex determination and individual identification in all crane species in the wild and breeding centers.

Перья – наиболее доступный биологический материал, широко используемый в молекулярно-генетических исследованиях орнитофауны. Способы получения перьев могут быть разными. Сбор линных перьев на гнездовых участках или в местах скопления птиц обеспечивает неинвазивность метода, что особенно важно при работе с редкими и охраняемыми видами. Однако аккуратный забор одного-двух покровных перьев из зоны груди или шеи птицы во время непосредственного контакта с ней (например, попутно при кольцевании, мечении передатчиками или при ветеринарном осмотре) не причинит птице вреда, но предоставит свежий биологический образец для выделения ДНК, особенно, если перья растущие, с кровью. Также большую ценность представляют перья из музейных коллекций, поскольку позволяют анализировать уникальный и труднодоступный в природе материал, в том числе от исчезнувших видов.

Использование перьев имеет свою специфику, поскольку само перо, как белковая структура, не является непосредственным источником ДНК. Для выделения ДНК берут либо соскоб эпидермиса (или дермы) с очина (рис. 1а), либо кровь из трубок растущих перьев (рис. 1б), либо сгусток крови (остаток осевой артерии) из основания опахала крупных перьев крыла (рис. 1в, г).

Статья посвящена обзору собственных популяционно-генетических исследований разных видов журавлей в природе и в центрах разведения, осуществлённых и продолжаемых в настоящее время с использованием перьев как одного из типов биологического материала для выделения ДНК наряду с кровью, кровеносными сосудами аллантоисов и мышечными тканями погибших птиц.

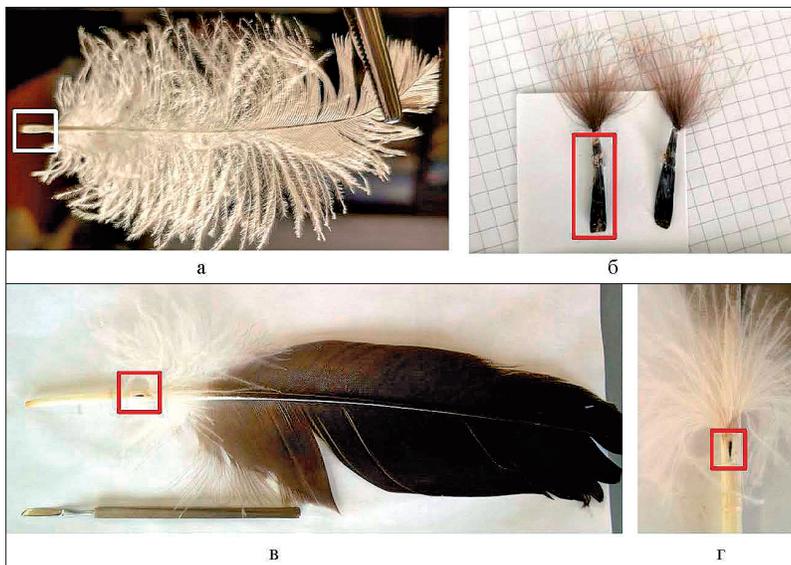


Рис. 1. Покровное перо красавки (*Anthropoides virgo*) (а), растущие ювенильные перья стерхов (*Leucogeranus leucogeranus*) (б), линное маховое перо японского журавля (*Grus japonensis*) с остатком редуцированной осевой артерии (в) с приближением (г)

Популяционно-генетическая структура красавки (Anthropoides virgo), серого (Grus grus) и даурского (Antigone vipio) журавлей в природе

Исследование популяционно-генетической структуры перечисленных видов журавлей проводили на основе анализа 8–10 ядерных микросателлитных локусов и секвенирования полного фрагмента контрольного региона митохондриальной ДНК (мтДНК). Все виды характеризовались высокой внутривидовой генетической изменчивостью, что указывает на стабильность состояния их генофондов. Так, по микросателлитным локусам уровни наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности находились в следующих пределах: $H_o = 0,638$, $H_e = 0,630$ у красавки [Mudrik et al., 2018]; $H_o = 0,684$, $H_e = 0,728$ у серого журавля [Мудрик и др., 2015б]; $H_o = 0,694$, $H_e = 0,707$ у даурского журавля. Аналогично многим дальним мигрантам, генетическая дифференциация названных видов журавлей была низкой или средней. Как правило, однородность генофонда обеспечивается потоком генов и отсутствием географических барьеров,

которые могли бы этот поток ограничивать. Мы изучали популяции даурского журавля, подвиды серого журавля и гнездовые группировки красавки, использующие разные территории для размножения и зимовки, и по каждому виду обнаружили, что преимущественное использование различными группировками разных пролётных путей не препятствует генетическому обмену между этими группировками. Так, генетическая дифференциация (F_{ST}) западного и восточного подвидов широкоареального серого журавля по микросателлитным локусам составила 0,011 [Мудрик и др., 20156]; такой же слабой она была и среди популяций западного подвида в Европе ($F_{ST} = 0,012$) [Haase et al., 2019]. Генетические различия между западной и восточной популяциями редкого даурского журавля также оказались низкими по ядерным маркёрам ($F_{ST} = 0,013$), но несколько выше по мтДНК ($F_{ST} = 0,041$) [Мудрик, Политов, 2021]. Генетическая подразделённость красавки, имеющей обширный, но фрагментированный гнездовой ареал в России, более выражена по сравнению с серым и даурским журавлями: $F_{ST} = 0,041$ по микросателлитным локусам [Mudrik et al., 2018] и $F_{ST} = 0,075$ по мтДНК [Mudrik et al., 2021]. При этом в европейской части ареала, где красавки используют два пролётных пути и два места зимовки, генетическая подразделённость оказалась выше, чем в азиатской, где у птиц одна общая зимовка и кольцевой маршрут миграции, что может способствовать потоку генов и большей генетической однородности гнездовых группировок красавки от Урала до Забайкалья [Mudrik et al., 2021].

Мониторинг состояния генофонда искусственной популяции стерха

Успешное разведение редких видов животных с целью реинтродукции в природу генетически полноценного потомства нуждается в поддержании генетического разнообразия маточного поголовья и предотвращении неблагоприятных процессов от близкородственных скрещиваний, вероятных при многолетнем размножении ограниченного числа особей. «Резервная» популяция эндемика России стерха была сформирована в 1980–1990 гг. в Окском заповеднике из журавлей, выращенных из яиц, собранных в Западной и Восточной Сибири. Для повышения эффективности размножения стерхов и получения большего числа потомков с целью реинтродукции использовали и в настоящее время используют искусственное осеменение самок спермой нескольких доноров (множественное осеменение), для чего

генетический контроль скрещиваний особенно необходим [Мудрик и др., 2015a].

С использованием 10 полиморфных микросателлитных локусов нами были генотипированы более 300 особей стерхов; получены оценки генетического разнообразия и родства в разных поколениях искусственной популяции; установлено отцовство более чем у 100 птенцов, полученных в результате множественного искусственного осеменения самок. Было показано, что современное поголовье производителей первого и второго поколений сохраняет высокий уровень гетерозиготности и низкий уровень инбридинга, свойственный основателям искусственной популяции, однако коэффициент родства в последующих поколениях возрос до уровня полусибсов [Мудрик и др., 2014б].

Анализ отцовства при множественном осеменении показал, что длительное сохранение (переживание) сперматозоидов в половых путях самок является распространённым явлением у стерха: в большинстве случаев оплодотворение яйцеклеток происходило как минимум через одни сутки после осеменения. Даже при отсутствии спермы других самцов сперматозоиды сохранялись в половых путях самки перед оплодотворением до шести суток, а в условиях конкуренции спермы от разных доноров время переживания сперматозоидов достигало максимальных для журавлей сроков – 15–18 суток [Мудрик и др., 2016].

Молекулярно-генетическое определение пола

Определение пола у птиц без выраженного полового диморфизма, к которым относятся журавли, с использованием молекулярно-генетических методов осуществляется быстро и точно. Это имеет значение и для разведения птиц в искусственно созданных условиях, и для изучения соотношения полов в природе. Так, нами были протестированы праймеры уникальной ДНК-последовательности W-хромосомы EE0.6 и отобрана универсальная их комбинация для определения пола птенцов, неполовозрелых и взрослых журавлей разных видов и межвидовых гибридов [Мудрик и др., 2013]. С использованием данного маркера с 2010 г. мы определили или подтвердили пол более тысячи журавлей из российских зоопарков, питомников и природы. В прикаспийской гнездовой группировке красавки в 2017 г. была показана тенденция к преобладанию самок в потомстве [Мудрик и др., 2018].

Индивидуальная идентификация

Индивидуальная идентификация по молекулярно-генетическим маркерам помогает решать частные вопросы опознания птиц. Так, при сопоставлении генотипов, определённых по микросателлитным локусам из кровеносных сосудов аллантаоисов, принадлежащих двум непомеченным новорожденным птенцам серого журавля из одной семьи, и по их растущим перьям в полуторамесячном возрасте было установлено, какой птенец вылупился из первого яйца, а какой из второго [Мудрик и др., 2013]. В нескольких случаях была проведена идентификация реинтродуцированных стерхов, утративших кольца [Мудрик и др., 2011, 2014а].

В заключение можно ещё раз подчеркнуть, что использование перьев для выделения ДНК наряду с другим биологическим материалом позволяет проводить широкий спектр популяционно-генетических исследований птиц (на примере с журавлями) с применением молекулярно-генетических маркеров.

Литература

Мудрик Е. А., Ильешенко Е. И., Джамирзоев Г. С., Корепов М. В., Политов Д. В. 2018. Соотношение полов у птенцов красавок (*Anthropoides virgo* Linnaeus, 1758) при каспийской гнездовой группировки. – Генетика, 54 (13): 54–57.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Гамбург Е. А., Политов Д. В. 2013. Генетическая идентификация птенцов по перьям и аллантаоису на примере серых журавлей в питомнике редких видов журавлей Окского заповедника. – Информационный бюллетень Рабочей группы по журавлям Евразии, 12: 79–81.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Гамбург Е. А., Политов Д. В. 2014а. Генетическая паспортизация и идентификация стерхов (*Grus leucogeranus* Pallas) в искусственно созданных условиях. – Известия РАН. Серия биологическая, 41 (3): 219–227.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Гамбург Е. А., Политов Д. В. 2013. Определение пола у десяти видов журавлей с помощью ДНК-маркера EE0.6. – Генетика, 49 (12): 1254–1257.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Политов Д. В. 2011. Генетическое разнообразие и мультилокусное генотипирование стерха по микросателлитным локусам. – Журавли Евразии (биология, распространение, миграции, управление), 4: 81–87.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Политов Д. В. 2016. Длительное сохранение сперматозоидов у стерха (*Grus leucogeranus* Pallas): анализ отцовства и родства при искусственном осеменении. – Онтогенез, 47 (3): 131–137.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Политов Д. В. 2015а. Интеграция молекулярно-генетических подходов в программу создания резервного генофонда редкого вида журавлей стерха (*Grus leucogeranus* Pallas). – Успехи современной биологии, 135 (2): 139–147.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Постельных К. А., Носаченко Г. В., Политов Д. В. 2014б. Генетическое разнообразие и родство в разных поколениях искусственной популяции стерха (*Grus leucogeranus* Pallas). – Генетика, 50 (11): 1345–1353.

Мудрик Е. А., Кашенцева Т. А., Редчук П. С., Политов Д. В. 2015б. Данные по микросателлитной изменчивости подтверждают низкую генетическую дифференциацию западного и восточного подвидов серого журавля (*Grus grus* L.). – Молекулярная биология, 49 (2): 297–304.

Мудрик Е. А., Политов Д. В. 2021. Популяционно-генетическая структура красавки и даурского журавля в России. – Журавли Евразии (распространение, биология), 6: 518–520.

Haase M., Holtje H., Blahy B., Bridge D., Henne E., Johansson U. S., Kaldma K., Khudyakova E. A., King A., Leito A., Mewes W., Mudrik E. A., Ojaste I., Politov D. V., Popken R., Rinne J., Stanbury A., Tofft J., Vali U., Schmitz O. A. 2019. Shallow genetic population structure in an expanding migratory bird with high breeding site fidelity, the Western Eurasian Crane *Grus grus grus*. – Journal of Ornithology, 160 (4): 965–972.

Mudrik E. A., Ilyashenko E. I., Goroshko O. A., Kashentseva T. A., Korepov M. V., Sikorskiy I. A., Dzhamirzoev G. S., Ilyashenko V. Yu., Politov D. V. 2018. The Demoiselle Crane (*Anthropoides virgo*) population genetic structure in Russia. – Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding, Vol. 22, No. 5: 586–592.

Mudrik E. A., Ilyashenko E. I., Ilyashenko V. Y., Postelnykh K. A., Kashentseva T. A., Korepov M. V., Goroshko O. A., Nechaeva A. N., Politov D. V. 2022. Genetic diversity and differentiation of the widespread migratory Demoiselle Crane, *Grus virgo*, on the northern edge of the species' distribution. – Journal of Ornithology, 163: 291–299.

О. А. Назарчук

АБЕРРАЦИИ ОПЕРЕНИЯ КРЯКВЫ, ЗИМУЮЩЕЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА МОЗЫРЯ

Резюме

В зимние сезоны 2007–2021 гг. в черте г. Мозыря, Беларусь, ежегодно учитывали 1500–3000 крякв (*Anas platyrhynchos*). Среди них встречены 4 самки и 1 самец с aberrантной окраской оперения. В 2012–2013 гг. на участке р. Припяти длиной около 1,5 км зарегистрированы 2645 крякв; у двух из них (самок) окраска оперения была aberrантной.

О. А. Nazarchuk

ABERRATIONS OF THE PLUMAGE OF MALLARD WINTERING IN THE VICINITY OF THE CITY OF MOZYR

Summary

In the winters of 2007–2021, 1500–3000 mallards (*Anas platyrhynchos*) were counted annually in the city of Mozyr, Belarus. Among them, 4 females and 1 male with aberrant plumage color were found. In 2012–2013, 2 645 mallards were