

## ФЕНОТИПИЧЕСКИЕ И ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ НЕНЕЦКОЙ ПОРОДЫ\*

А.В. ДОЦЕВ<sup>1</sup>, Т.М. РОМАНЕНКО<sup>2</sup>, В.Р. ХАРЗИНОВА<sup>1</sup>, А.Д. СОЛОВЬЕВА<sup>1</sup>,  
К.А. ЛАЙШЕВ<sup>3</sup>, Г. БРЕМ<sup>1, 4</sup>, Н.А. ЗИНОВЬЕВА<sup>1</sup>

Оленеводство — ведущая отрасль животноводства в Ненецком автономном округе (НАО). В настоящее время племенная работа в оленеводстве ведется в основном традиционными методами, которые основаны на оценке фенотипа. Для дальнейшего развития оленеводства и повышения продуктивности необходимо усовершенствовать племенную работу, используя молекулярно-генетические методы. Нашей целью стало изучение экстерьерных и генетических особенностей ненецкой породы оленей в условиях НАО. Были проведены измерения экстерьерных характеристик (высота в холке, глубина груди, ширина груди, обхват груди за лопатками, обхват пясти, косая длина туловища, ширина в седалищных буграх, длина головы, живая масса) в трех хозяйствах: СПК коопхозе «Ерв» (ERV,  $n = 28$ ), СПК «Индига» (IND,  $n = 34$ ), СПО «Илеби» (ILB,  $n = 25$ ). На основании полученных данных вычисляли индексы телосложения: массивность, сбитость, костистость, грудной индекс, растянутость, большеголовость. Для генетической характеристики провели анализ девяти микросателлитных локусов (NVHRT76, RT9, NVHRT24, RT30, RT1, RT6, RT27, NV21, RT7). Статистическая обработка данных выполняли с помощью программного обеспечения R и R пакетов *adegenet* и *diveRcity*. По большинству экстерьерных показателей наблюдалось значимое преимущество IND и ILB над ERV: высота в холке соответственно  $99,2 \pm 0,42$ ;  $99,7 \pm 0,53$  и  $97,0 \pm 0,46$  см ( $p < 0,01$ ); глубина груди —  $43,4 \pm 0,31$ ;  $42,6 \pm 0,32$  и  $43,7 \pm 0,46$  см; ширина груди —  $27,7 \pm 0,35$ ;  $27,5 \pm 0,45$  и  $26,6 \pm 0,27$  см; обхват груди за лопатками —  $125,6 \pm 0,69$ ;  $126,6 \pm 0,80$  и  $119,0 \pm 0,77$  см ( $p < 0,01$ ); косая длина туловища —  $108,3 \pm 0,54$ ;  $107,7 \pm 0,81$  и  $102,2 \pm 0,32$  см ( $p < 0,01$ ); обхват пясти —  $11,8 \pm 0,09$ ;  $11,9 \pm 0,11$  и  $11,21 \pm 0,05$  см; длина головы —  $33,3 \pm 0,38$ ;  $33,9 \pm 0,51$  и  $32,1 \pm 0,18$  см; живая масса —  $104,6 \pm 1,17$ ;  $106,4 \pm 1,24$  и  $83,5 \pm 1,08$  см ( $p < 0,01$ ). По массивности, грудному индексу и растянутости IND и ILB превосходили ERV ( $p < 0,01$ ). При сравнении индексов с показателями 1970-х годов отмечалось увеличение массивности и грудного индекса у IND и ILB, а костистости и растянутости — у всех трех исследуемых групп. По результатам анализа главных компонент (PCA) установлена схожесть важенок IND и ILB по морфологическим (экстерьерным) и генетическим характеристикам, что проявлялось в формировании перекрывающихся массивов на PCA-плоте, в то время как важеньки ERV формировали относительно обособленный кластер. Показатели попарных генетических дистанций подтверждали большее сходство между IND и ILB ( $F_{st} = 0,018$ ,  $D_{Jost} = 0,017$ ). Все три популяции характеризовались недостатком гетерозигот ( $F_{is} > 0$ , ДИ 95 %). Показатели аллельного разнообразия ( $A_r$ ) варьировали от  $6,17 \pm 0,499$  (IND) до  $6,78 \pm 0,494$  (ILB). Таким образом, популяции северного оленя, разводимые в НАО, имеют морфологические и генетические различия. При этом популяции, различающиеся генетически, отличаются друг от друга и по морфологическим характеристикам. Экстерьерные показатели в исследованных популяциях находятся в пределах стандарта породы либо превышают их.

Ключевые слова: оленеводство, экстерьер, генетическое разнообразие, микросателлиты.

Оленеводство — основная отрасль животноводства в северных районах Российской Федерации. В суровых климатических условиях, к которым не приспособлены другие виды сельскохозяйственных животных, коренные народы используют северного оленя для производства продуктов питания, одежды и в качестве транспорта (1). Одно из лидирующих мест по поголовью домашнего северного оленя занимает Ненецкий автономный округ (НАО). По данным племенного учета на 1 января 2015 года, на территории НАО в 23 хозяйствах содержалось около 170 тыс. оленей (2). За годы реформ в сельском хозяйстве и интенсивного промышленного освоения территории Крайнего Севера ненцы смогли сохранить оленеводство в полном объеме (3). Методами народной селекции они вывели многочисленную группу домашних северных оленей с четко выраженными морфо-биологическими и хозяйственно полезными признаками, устойчи-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 16-16-10068.

во передающимися потомству. В 1985 году ненецкая порода в числе других пород северных оленей была занесена в Государственный реестр пород сельскохозяйственных животных СССР. Олени этой породы характеризуются крепким телосложением и средней величиной. Это самая многочисленная порода домашних оленей, ее разводят на севере европейской части России и за Уралом, в низовьях Оби и Енисея. С 1930-х годов стали проводиться массовые зоотехнические исследования ненецких оленей в Западной Сибири, в результате которых значительно возросли размеры и продуктивность животных, улучшилось телосложение (4).

В отличие от других отраслей животноводства, племенная работа в оленеводстве проводится в основном традиционными методами, которые базируются на глазомерной оценке, позволяющей определить продуктивные, прежде всего мясные, качества и косвенно судить о воспроизводительных способностях животных. В течение долгого времени о разнообразии внутри популяций и между ними судили на основании фенотипической оценки морфологических признаков, характеризующих форму и внешний вид особей (5). Однако для исследования популяции этого недостаточно.

Развитие оленеводства и повышение продуктивности животных связывают с усовершенствованием племенной работы за счет современных методов селекции и разведения. Один из них — использование микросателлитных маркеров, известных также как короткие tandemные повторы (short tandem repeats, STR), для генетической характеристики северных оленей. Микросателлиты обладают высокой степенью полиморфизма, для них характерен менделевский тип наследования и равномерное распределение по геному. Благодаря этому они широко применяются в исследованиях по контролю достоверности происхождения, определению степени инбридинга, оценке чистопородности, биоразнообразия и степени генетической дифференциации пород и внутривидовых генетических структур для всех основных видов сельскохозяйственных животных (6-10). Микросателлитные маркеры успешно использовались в работах по изучению генетического разнообразия (11, 12), а также степени интрогрессии домашней и дикой популяций северного оленя (13).

В настоящей работе впервые на основе морфологических и генетических данных был проведен анализ главных компонент (PCA), который показал наличие как минимум двух групп северного оленя ненецкой породы на территории НАО, что также нашло подтверждение при сравнении попарных генетических дистанций между исследуемыми популяциями.

Цель исследования — оценка экстерьерных и генетических показателей ненецкой породы оленей (*Rangifer tarandus*) в условиях Ненецкого автономного округа.

*Методика.* Экстерьерные характеристики важенок ненецкой породы северного оленя (возраст 3,5-8,5 лет) учитывали в 2016 году в трех хозяйствах НАО: СПК коопхоз «Ерв» (ERV,  $n = 28$ ), СПК «Индига» (IND,  $n = 34$ ), СПО «Илебц» (ILB,  $n = 25$ ). Высоту в холке, глубину груди, ширину груди оценивали с использованием палки Лидтена; обхват груди за лопатками, обхват пясти, косую длину туловища — с помощью измерительной ленты; ширину в седалишных буграх, длину головы — циркулем Вилькинса; живую массу — взвешиванием с помощью динамометра ДПУ-5-2 на 500 кг (ООО «Завод испытательных приборов», Россия). На основании полученных данных вычисляли индексы телосложения: массивность, сбитость, костистость, грудной индекс, растянутость, большеголовость. Данные, полученные при обследовании оленей трех оленеводческих хозяйств, суммировали по возрастным группам и вычисляли средние ве-

личины. Для сравнения использовали сведения об индексах телосложения у животных ненецкой породы, полученные в 1970-х годах (14).

Для генетической характеристики животных были отобраны образцы ткани (ушной выщип). ДНК выделяли с использованием колонок Nexttec™ 1-step DNA Isolation («Nexttec Biotechnologie GmbH», Германия) согласно рекомендациям изготовителя. Полиморфизм 9 микросателлитных локусов (NVHRT76, RT9, NVHRT24, RT30, RT1, RT6, RT27, NV21, RT7) оценивали на ДНК анализаторе ABI3130xl («Applied Biosystems», США) с помощью ранее разработанной методики (15). Размеры аллелей определяли в программе GeneMapper 4.0 («Applied Biosystems», США) с последующей конвертацией в числовые выражения, на основании которых формировалась матрица генотипов в формате Microsoft Excel. В качестве группы сравнения для оценки генетического разнообразия использовали образцы от дикого оленя ( $n = 32$ ), отобранные в экспедициях на Западный Таймыр.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программного обеспечения R 3.3.3 (16). Расчет показателей для анализа главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) на основании микросателлитных последовательностей проводили с помощью R пакета adegenet (17). Для визуализации результатов применяли R пакет ggplot2 (18). Ожидаемую ( $H_e$ ) и наблюдаемую ( $H_o$ ) гетерозиготность, коэффициент инбридинга ( $F_{is}$ ), показатель аллельного разнообразия ( $A_r$ ) и генетические дистанции рассчитывали с использованием R пакета diveRcity (19). Также с помощью этого пакета оценивали степень генетической дифференциации популяций на основании попарных значений  $F_{st}$  (20) и  $D_{Jost}$  (21). В таблицах и тексте приведены средние арифметические значения ( $M$ ), стандартные ошибки ( $\pm SEM$ ), коэффициенты вариации ( $Cv$ ).

*Результаты.* Сравнивая экстерьерные показатели (табл. 1), можно отметить, что важеньки ILB и IND по высоте в холке превосходили ERV в среднем на 2,75 и 2,27 см ( $p < 0,01$ ). Разница между важеньками IND и ILB оказалась недостоверной. При этом все значения соответствовали стандарту породы — 94,5-100,5 см (4). Показатель глубины груди у важенок в изучаемых группах не имел достоверных различий. Ширина груди у IND была на 1,06 см больше, чем у ERV ( $p < 0,05$ ). Обхват груди за лопатками у важенок IND и ILB оказался больше по сравнению с ERV соответственно на 6,61 и 7,62 см ( $p < 0,01$ ). Аналогичная тенденция прослеживалась и по показателю косой длины туловища, который у IND и ILB был выше, чем у ERV, на 6,11 и 5,53 см ( $p < 0,01$ ). При этом два последних показателя у ERV находились в пределах нормы, а у IND и ILB превышали породные стандарты для обхвата груди (114,5-124,0 см) и косой длины туловища (99,0-107,0 см) (4). Данные по ширине седалищных бугров были доступны только для групп IND и ILB, и различия между ними оказались недостоверными. Обхват пясти у животных в трех хозяйств варьировал от  $11,21 \pm 0,05$  до  $11,88 \pm 0,11$  см и соответствовал стандарту (10,0-12,0 см). При этом статистически значимая разница была выявлена между IND и ERV ( $p < 0,01$ ), а также ILB и ERV ( $p < 0,01$ ). Длина головы у важенок ERV была меньше, чем у IND и ILB ( $p < 0,01$ ). По живой массе в сравниваемых группах выделялись важеньки ILB и IND, которые оказались тяжелее животных ERV соответственно на 22,94 и 21,16 кг ( $p < 0,01$ ). Разница по живой массе между IND и ILB (1,78 кг) была статистически не достоверна.

Более полное представление об экстерьере давали индексы телосложения (табл. 2). О лучшем развитии туловища свидетельствовал высокий индекс массивности важенок IND и ILB по сравнению с ERV ( $p < 0,01$ ). У животных ERV значение этого показателя было сопоставимо с данными по

НАО, полученными в 1970-х годах (NEN'70) (см. табл. 2). Индекс сбитости — удобный показатель для оценки массы тела. Различия по нему среди важенок из разных хозяйств не были статистически достоверными ( $p < 0,05$ ) и не отличались от средних по NEN'70. Индекс костистости у ERV оказался меньше ( $p < 0,05$ ), чем у важенок IND и ILB, что указывает на более грубый костяк у последних. Следует отметить, что значения этого индекса у всех исследуемых популяций превосходили NEN'70. Грудной индекс, отражающий степень развития грудной клетки, у животных IND и ILB был выше, чем у ERV, но значимые различия фиксировали только для ILB-ERV ( $p < 0,05$ ). Следует отметить, что этот показатель у ERV был ниже, чем у NEN'70. Индекс растянутости у IND и ILB также превышал таковой у ERV (соответственно  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$ ). Значения индекса большеголовости в исследуемых популяциях значимо не различались.

### 1. Сравнительная оценка экстерьерных показателей и живой массы у важенок домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы в возрасте 3,5-8,5 лет (Ненецкий АО, 2016 год)

Популяция	<i>n</i>	<i>M</i> ±SEM	<i>C<sub>v</sub></i> , %	min-max	Размах варьирования
Высота в холке, см					
ERV	28	96,97±0,46	2,5	93,0-104,0	11,0
ILB	25	99,72±0,53	2,7	95,0-106,0	11,0
IND	34	99,24±0,42	2,5	95,0-106,0	11,0
Глубина груди, см					
ERV	28	43,66±0,46	2,6	41,7-46,3	4,6
ILB	25	42,64±0,32	3,8	38,0-46,5	8,5
IND	34	43,35±0,31	4,2	39,0-47,0	8,0
Ширина груди, см					
ERV	28	26,59±0,27	5,3	24,0-29,6	5,6
ILB	25	27,54±0,45	8,1	22,0-34,0	12,0
IND	34	27,65±0,35	7,4	22,0-31,0	9,0
Обхват груди за лопатками, см					
ERV	28	118,96±0,77	3,4	110,5-126,0	15,5
ILB	25	126,58±0,80	3,2	120,0-134,0	14,0
IND	34	125,57±0,69	3,2	118,0-134,0	16,0
Косая длина туловища, см					
ERV	28	102,21±0,32	1,7	99,0-106,0	7,0
ILB	25	107,74±0,81	3,8	102,0-117,0	15,0
IND	34	108,32±0,54	2,9	102,0-114,0	12,0
Ширина в седалищных буграх, см					
ERV	—	—	—	—	—
ILB	25	11,88±0,20	8,4	10,0-15,0	5,0
IND	34	12,07±0,20	10,0	9,0-14,0	5,0
Обхват пясти, см					
ERV	28	11,21±0,05	2,6	11,0-12,0	1,0
ILB	25	11,88±0,11	4,6	11,0-13,0	2,0
IND	34	11,75±0,09	4,2	11,0-13,0	2,0
Длина головы, см					
ERV	28	32,12±0,18	2,9	31,0-34,0	3,0
ILB	25	33,86±0,51	7,5	30,0-39,0	9,0
IND	34	33,25±0,38	6,6	28,0-39,0	11,0
Живая масса, кг					
ERV	28	83,46±1,08	6,8	75,0-107,0	32,0
ILB	25	106,40±1,24	5,8	96,0-121,0	25,0
IND	34	104,62±1,17	6,5	88,0-121,0	33,0

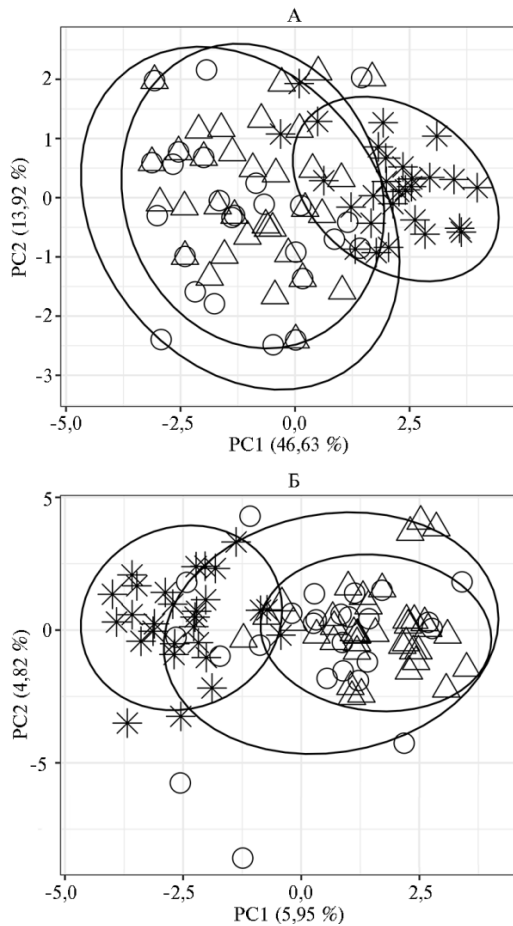
Примечание. ERV — животные из СПК коопхоз «Ерв», IND — СПК «Индига», ILB — СПО «Илебц». *n* — размер выборки (гол.), *M* — среднее арифметическое, SEM — стандартная ошибка, *C<sub>v</sub>* — коэффициент вариации, min-max — минимальное и максимальное значения. Прочерки означают отсутствие данных.

### 2. Сравнительная характеристика экстерьера важенок домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы в возрасте 3,5-8,5 лет по индексам телосложения (Ненецкий АО, 2016 год)

Индекс телосложения	ERV ( <i>M</i> ±SEM)	ILB ( <i>M</i> ±SEM)	IND ( <i>M</i> ±SEM)	NEN'70 ( <i>M</i> )	Стандарт породы (4), %
Массивность	122,74±0,91	126,97±0,73	126,57±0,67	123,0	118,7-123,8
Сбитость	116,40±0,73	117,59±0,88	115,99±0,67	117,7	—
Костистость	11,57±0,06	11,91±0,10	11,84±0,08	10,8	10,8-12,1

Грудной	60,96±0,77	64,67±1,12	63,86±0,88	62,8	59,4-65,5
Растянutosть	105,46±0,50	108,08±0,83	109,20±0,60	103,9	—
Большоголовость	33,14±0,21	33,98±0,53	33,51±0,38	34,4	—

Примечание. ERV — животные из СПК коопхоз «Ерв», IND — СПК «Индига», ILB — СПО «Илебц», NEN'70 — средние данные по Ненецкому АО, полученные в 1970-х годах (4). *M* — среднее арифметическое, SEM — стандартная ошибка. Прочерки означают отсутствие данных.



Анализ главных компонент (PCA), проведенный на основе морфологических (А) и генетических (Б) данных по важенкам домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы в возрасте 3,5-8,5 лет:  $\Delta$  — животные из СПК «Индига» (IND),  $\circ$  — СПО «Илебц» (ILB), \* — СПК коопхоз «Ерв» (ERV). Кругами отмечен 95 % доверительный интервал кластеризации (Ненецкий АО, 2016 год)

ILB (0,042). IND характеризовалась большей отдаленностью от дикой формы (0,078).

Попарные значения  $F_{st}$  широко применяются и могут быть использованы для сравнения с результатами других работ. Однако недавние исследования показали лимитированность использования этого показателя для оценки степени дифференциации между популяциями с высокой внутривидовой гетерозиготностью (23), включая популяции северных оленей (24). Наиболее подходящими для таких целей признаны расчеты попарных значений  $D_{Jost}$  (21).

На основании сравнительного анализа морфологической (по промерам, рис. 1, А) изменчивости важенок из трех хозяйств установлено, что животные IND и ILB находились в одном кластере, то есть имели сходные экстерьерные признаки. Большая часть важенок ERV кластеризовалась отдельно от вышеуказанных популяций, обозначая иной морфологический тип. Генетический анализ (по микросателлитам, см. рис. 1, Б) показал сходные результаты. Животные IND и ILB формировали общий массив, в то время как важенки ERV располагались в виде относительно обособленного кластера. Первая главная компонента (PC1) отвечала за 5,95 %, вторая (PC2) — за 4,82 % генотипической изменчивости. В целом генетический анализ выявил большее отличие важенок ERV от остальных групп, чем морфологический анализ.

Расчет попарных значений  $F_{st}$  (табл. 3) показал, что наименьшая генетическая дистанция наблюдалась между IND и ILB — 0,018 ( $p > 0,05$ ). Отличие ERV от двух других популяций было более существенным — 0,101 с IND и 0,056 с ILB. При сравнении домашних популяций с дикой наиболее близки к последней оказались ERV (0,041) и

### 3. Показатели попарных генетических дистанций ( $F_{st}$ и $D_{Jost}$ ) между популяциями важенок домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы (Ненецкий АО, 2016 год)

Популяция	ERV	ILB	IND	WLD
ERV	0,000	0,054	0,107	0,060
ILB	0,056	0,000	0,017	0,116
IND	0,101	0,018	0,000	0,187
WLD	0,041	0,042	0,078	0,000

Примечание. ERV — животные из СПК коопхоз «Ерв», IND — СПК «Индига», ILB — СПО «Илебц», WLD — дикая популяция. Попарные значения  $F_{st}$  приведены в нижней части таблицы, значения  $D_{Jost}$  — в верхней.

Для домашних популяций значения  $D_{Jost}$  были схожими с попарными значениями  $F_{st}$ , однако для дикой популяции  $D_{Jost}$  оказались выше. В то время как  $F_{st}$  выявили, что генетически IND и ILB ближе к дикой популяции, чем к ERV, значения  $D_{Jost}$  показали, что дистанции между ERV и другими домашними популяциями меньше, чем с дикой.

Показатели наблюдаемой гетерозиготности у трех популяций значимо не отличались друг от друга ( $p < 0,05$ ) и находились в пределах от  $0,551 \pm 0,046$  (ILB) до  $0,567 \pm 0,043$  (IND) (табл. 4). Также значимые различия не наблюдались для ожидаемой гетерозиготности. Коэффициент инбридинга ( $F_{is}$ ) у всех изучаемых групп был положительным ( $p < 0,05$ ), что указывает на недостаток гетерозигот в популяциях. Возможно, это следствие целенаправленной селекции и ограниченного обмена генетического материала с другими стадами. Показатели аллельного разнообразия варьировали от  $6,173 \pm 0,499$  (IND) до  $6,778 \pm 0,494$  (ILB) и значимо не различались. По сравнению с дикой популяцией домашние северные олени характеризовались более низкой гетерозиготностью и аллельным разнообразием.

### 4. Показатели генетического разнообразия у важенок домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы (Ненецкий АО, 2016 год)

Популяция	$n$	$H_o (M \pm SEM)$	$H_e (M \pm SEM)$	$F_{is}$ (95 % ДИ)	$A_r (M \pm SEM)$
ERV	28	$0,563 \pm 0,058$	$0,706 \pm 0,047$	0,193 (0,061-0,323)	$6,430 \pm 0,650$
ILB	25	$0,551 \pm 0,046$	$0,742 \pm 0,027$	0,257 (0,163-0,358)	$6,778 \pm 0,494$
IND	34	$0,567 \pm 0,043$	$0,718 \pm 0,030$	0,201 (0,088-0,322)	$6,173 \pm 0,499$
WLD	32	$0,622 \pm 0,056$	$0,796 \pm 0,023$	0,223 (0,102-0,330)	$8,280 \pm 0,666$

Примечание. ERV — животные из СПК коопхоз «Ерв», IND — СПК «Индига», ILB — СПО «Илебц».  $n$  — размер выборки (гол.),  $H_o$  — наблюдаемая гетерозиготность,  $H_e$  — ожидаемая гетерозиготность,  $F_{is}$  — коэффициент инбридинга,  $A_r$  — аллельное разнообразие;  $M$  — среднее арифметическое, SEM — стандартная ошибка, ДИ — доверительный интервал.

Таким образом, важенки северного оленя, разводимые в Ненецком автономном округе, имели морфологические и генетические различия. Животные из СПК «Индига» (IND) и СПО «Илебц» (ILB) по ряду основных промеров тела (высота в холке, ширина груди, обхват груди за лопатками, обхват пясти, косая длина туловища, длина головы) и по живой массе превосходили важенок из СПК коопхоз «Ерв» (ERV). Значения коэффициента вариации для всех изученных параметров находились в пределах 10 %, что показывает высокую степень консолидации популяций, причем по некоторым признакам (глубина груди, ширина груди, косая длина туловища, обхват пясти и длина головы) важенки ERV были наиболее однородны. Экстерьерные промеры во всех популяциях либо находились в пределах стандарта породы, либо превышали их (например, косая длина туловища, обхват груди в хозяйствах IND и ILB). По признакам костистость и растянутость наблюдалось увеличение показателей по сравнению с данными 1970-х годов (NEN'70). Отмечено увеличение индекса

массивности в ILB и IND по сравнению с породным стандартом, в то время как в ERV они находились в пределах нормы и не отличались от NEN'70. На основе данных микросателлитного анализа было выявлено, что животные IND и ILB формировали общий массив, а ERV располагались в виде относительно обособленного кластера. Показано, что генетически различающиеся группы характеризовались разными фенотипическими показателями. Полученные нами результаты свидетельствуют о необходимости совместного анализа морфологических и генетических параметров популяции северного оленя. Информация о популяционной структуре северного оленя по комплексу морфологических и генетических параметров позволит выработать стратегию управления и дальнейшего мониторинга вида.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко Т.М. Экстерьерная оценка важенок домашних северных оленей в современных условиях Ненецкого АО. Мат. 11-й Всероссийской конференции-школы молодых ученых с международным участием «Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных БИОТЕХЖ». Дубровицы, 2016: 198-204.
2. Романенко Т.М., Филиппова Г.И. Генетический полиморфизм в популяции домашнего северного оленя Канинско-Тиманской тундры Ненецкого АО. Символ науки, 2015, 11: 45-52.
3. Южаков А.А., Мухачев А.Д. Этническое оленеводство Западной Сибири: ненецкий тип. Красноборск, 2001.
4. Бороздин Э.К., Забродин В.А., Вагин А.С. Северное оленеводство. Л., 1990.
5. Региональный портал НАО «Инфо83». Научно-исследовательские работы по проведению генетического мониторинга северных оленей ненецкой породы. 2014. Режим доступа: <https://www.info83.ru/news/obshestvo/37347-nauchno-issledovatel'skie-raboti-po-provedeniyu-geneticheskogo-monitoringa-severnih-oleney-neneckoy-porodi>. Дата обращения: 15.09.2017.
6. Зиновьева Н.А., Харзинова В.Р., Логвинова Т.И., Гладырь Е.А., Сизарева Е.И., Чинаров Ю.И. Микросателлитные профили как критерии определения чистопородности и оценки степени гетерогенности подборов родительских пар в свиноводстве. Сельскохозяйственная биология, 2011, 6: 47-53.
7. Weber J.L., May P.E. Abundant class of human DNA polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. Am. J. Hum. Genet., 1989, 44(3): 388-396.
8. Tautz D. Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers. Nucleic Acids Res., 1989, 17: 6463-6471.
9. DeWoody J., Avise J.C. Microsatellite variation in marine, freshwater and anadromous fishes compared with other animals. J. Fish Biol., 2000, 56: 461-473 (doi: 10.1111/j.1095-8649.2000.tb00748.x).
10. Primmer C.R., Ellegren H., Saino N., Mailer A.P. Directional evolution in germline microsatellite mutations. Nat. Genet., 1996, 13: 391-393.
11. Холодова М.В., Баранова А.И., Мизин И.А., Рожнов В.В., Сипко Т.П., Давыдов А.В., Рожков Ю.И., Баранова А.И. Своеобразие генетической структуры новоземельского северного оленя (*Rangifer tarandus pearsoni*): анализ полиморфизма маркеров ядерной и митохондриальной ДНК. Мат. Межд. совещания «Териофауна России и сопредельных территорий». X съезд Териологического общества при РАН. М., 2016: 445.
12. Баранова А.И., Холодова М.В., Сипко Т.П. Генетическая структура дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) России на основании полиморфизма микросателлитных локусов. Актуальные вопросы современной зоологии и экологии животных. Мат. Всерос. науч. конф., посвященной 70-летию кафедры «Зоология и экология» Пензенского государственного университета и памяти профессора В.П. Денисова (1932-1997). Пенза, 2016: 21.
13. Kharzinova V.R., Dotsev A.V., Kramarenko A.S., Layshev K.A., Romanenko T.M., Solov'eva A.D., Deniskova T.E., Kostyunina O.V., Brem G., Zinovieva N.A. Study of the allele pool and the degree of genetic Introgression of semi-domesticated and wild populations of reindeer (*Rangifer tarandus* L., 1758) using microsatellites. Agricultural Biology, 2016, 51(6): 811-823 (doi: 10.15389/agrobiol.2016.6.811eng).
14. Южаков А.А., Мухачев А.Д. Этническое оленеводство Западной Сибири: ненецкий тип. Красноборск, 2001.
15. Kharzinova V.R., Gladyr' E.A., Fedorov V.I., Romanenko T.M., Shim-it L.D., Layshev K.A., Kalashnikova L.A., Zinovieva N.A. Development of

multiplex microsatellite panel to assess the parentage verification in and differentiation degree of reindeer populations (*Rangifer tarandus*). *Agricultural Biology*, 2015, 50(6): 756-765 (doi: 10.15389/agrobiol.2015.6.756eng).

16. R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. Режим доступа: <http://www.R-project.org>. Без даты.
17. Jombart T. adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. *Bioinformatics*, 2008, 24: 1403-1405 (doi: 10.1093/bioinformatics/btn129).
18. Wickham H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag, NY, 2009.
19. Keenan K., McGinnity P., Cross T.F., Crozier W.W., Prodohl P.A. diveRsiTy: An R package for the estimation of population genetics parameters and their associated errors. *Methods Ecol. Evol.*, 2013, 4(8): 782-788 (doi: 10.1111/2041-210X.12067).
20. Weir B.S., Cockerham C.C. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 1984, 38: 1358-1370.
21. Jost L. GST and its relatives do not measure differentiation. *Mol. Ecol.*, 2008, 17: 4015-4026 (doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03887.x).
22. Meirmans P., Hedrick W. Assessing population structure:  $F_{ST}$  and related measures. *Mol. Ecol. Resour.*, 2010, 11(1): 5-18 (doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02927.x).
23. Mager K.H. Population structure and hybridization of Alaskan caribou and reindeer: integrating genetics and local knowledge. Dissertation of the degree doctor of philosophy. Fairbanks, Alaska, 2012.

*<sup>1</sup>ФГБНУ Федеральный научный центр  
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,  
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск,  
пос. Дубровицы, 60,  
e-mail: asnd@mail.ru, veronika0784@mail.ru, anastasiya93@mail.ru,  
n\_zinovieva@mail.ru;*

*Поступила в редакцию  
25 сентября 2017 года*

*<sup>2</sup>Нарьян-Марский филиал ФГБНУ Федерального  
исследовательского центра комплексного изучения  
Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН — Нарьян-  
Марская сельскохозяйственная опытная станция,  
166000 Россия, Ненецкий АО, г. Нарьян-Мар, ул. Рыбников, 1а,  
e-mail: nmshos@atnet.ru;*

*<sup>3</sup>ФГБНУ Северо-Западный центр междисциплинарных  
исследований проблем продовольственного обеспечения,  
196608 Россия, г. Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 7,  
e-mail: layshev@mail.ru;*

*<sup>4</sup>Institut für Tierzucht und Genetik,  
University of Veterinary Medicine (VMU),  
Veterinärplatz, A-1210, Vienna, Austria,  
e-mail: gottfried.brem@vetmeduni.ac.at*

*Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2017, V. 52, № 6, pp. 1175-1183

## STUDY OF PHENOTYPIC AND GENOTYPIC FEATURES OF REINDEER POPULATIONS OF THE NENETS BREED

*A.V. Dotsev<sup>1</sup>, T.M. Romamenko<sup>2</sup>, V.R. Kharzinova<sup>1</sup>, A.D. Solovieva<sup>1</sup>, K.A. Layshev<sup>3</sup>,  
G. Brem<sup>1, 4</sup>, N.A. Zinovieva<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Federal Agency of Scientific Organizations, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail asnd@mail.ru (corresponding author), veronika0784@mail.ru, anastasiya93@mail.ru, n\_zinovieva@mail.ru (corresponding author);*

*<sup>2</sup>Federal Center for Integrated Arctic Research (FCIARctic)' Nenets Division — Agro-Experimental Station, Federal Agency of Scientific Organizations, 1a, ul. Rybnikov, Naryan-Mar, Nenets AO, 166004, Russia, e-mail nmshos@atnet.ru;*

*<sup>3</sup>North-West Center of Interdisciplinary Researches of Food Maintenance Problems, Federal Agency of Scientific Organizations, 7, sh. Podbel'skogo, St. Petersburg, 196608 Russia, e-mail layshev@mail.ru;*

*<sup>4</sup>Institut für Tierzucht und Genetik, University of Veterinary Medicine (VMU), Veterinärplatz, A-1210, Vienna, Austria, e-mail gottfried.brem@vetmeduni.ac.at*

ORCID:

Dotsev A.V. [orcid.org/0000-0003-3418-2511](http://orcid.org/0000-0003-3418-2511)

Layshev K.A. [orcid.org/0000-0003-2490-6942](http://orcid.org/0000-0003-2490-6942)

Romamenko T.M. [orcid.org/0000-0003-0034-7453](http://orcid.org/0000-0003-0034-7453)

Brem G. [orcid.org/0000-0002-7522-0708](http://orcid.org/0000-0002-7522-0708)

Kharzinova V.R. [orcid.org/0000-0002-8067-0404](http://orcid.org/0000-0002-8067-0404)

Zinovieva N.A. [orcid.org/0000-0003-4017-6863](http://orcid.org/0000-0003-4017-6863)

Solovieva A.D. [orcid.org/0000-0003-2628-9554](http://orcid.org/0000-0003-2628-9554)

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation, project № 16-16-10068

Received September 25, 2017

doi: 10.15389/agrobiol.2017.6.1175eng



## Abstract

Reindeer herding is the leading branch of animal husbandry in the Nenets Autonomous Okrug (NAO). Currently, reindeer herding is being conducted mainly by traditional methods, which are based on the assessment of the phenotype. For further development of reindeer herding and the increase of its productivity, it is necessary to improve the level of breeding work by using molecular genetic information. The aim of our study was to investigate the phenotypic and genetic features of the reindeer Nenets breed in the conditions of the NAO. To examine morphological features, the measurements of the exterior characteristics (height at withers, chest depth, chest width, chest girth, wrist girth, body length, loin width, head length, body weight) were made at three farms of the NAO: ERV (ERV,  $n = 28$ ), Indiga (IND,  $n = 34$ ) and Ilebts (ILB,  $n = 25$ ). Based on the data obtained, the body built indices were calculated: massiveness, blockiness, bone, chest index, lengthiness and head. For genetic characteristics, the analysis of nine microsatellite (NVHRT76, RT9, NVHRT24, RT30, RT1, RT6, RT27, NV21, RT7) loci was carried out. Statistical processing of data was performed using the R software and R packages adegenet and diveRsity. For most of the exterior features, a significant advantage of IND and ILB over ERV was observed, respectively: height at withers —  $99.2 \pm 0.42$ ,  $99.7 \pm 0.53$  and  $97.0 \pm 0.46$  cm ( $p < 0.01$ ); chest depth —  $43.4 \pm 0.31$ ,  $42.6 \pm 0.32$  and  $43.7 \pm 0.46$  cm; chest width —  $27.7 \pm 0.35$ ,  $27.5 \pm 0.45$  and  $26.6 \pm 0.27$  cm; chest girth —  $125.6 \pm 0.69$ ,  $126.6 \pm 0.80$  and  $119.0 \pm 0.77$  cm ( $p < 0.01$ ); body length —  $108.3 \pm 0.54$ ,  $107.7 \pm 0.81$  and  $102.2 \pm 0.32$  cm ( $p < 0.01$ ); wrist girth —  $11.8 \pm 0.09$ ,  $11.9 \pm 0.11$  and  $11.21 \pm 0.05$  cm; head length —  $33.3 \pm 0.38$ ,  $33.9 \pm 0.51$  and  $32.1 \pm 0.18$  cm; body weight is  $104.6 \pm 1.17$ ,  $106.4 \pm 1.24$  and  $83.5 \pm 1.08$  cm ( $p < 0.01$ ). IND and ILB also exceeded ERV ( $p < 0.01$ ) in massiveness, chest and lengthiness indices. As compared to the indicators of the 1970s, there was an increase in massiveness and chest index in IND and ILB, and bone and lengthiness in all the three groups studied. According to the results of principal component analysis (PCA), the similarity between IND and ILB was observed for both the morphological and genetic characteristics, which was manifested in the formation of overlapping arrays on the PCA-plot, while the ERV formed a relatively isolated cluster. Pairwise genetic distances confirmed the greater similarity between IND and ILB ( $F_{st} = 0.018$  and  $D_{Jost} = 0.017$ ). All the three populations were characterized by a deficit of heterozygotes ( $F_{is} > 0$ , CI 95 %). Allelic richness ( $A_r$ ) varied from  $6.17 \pm 0.499$  (IND) to  $6.78 \pm 0.494$  (ILB). Thus, it was shown that the reindeer populations that are bred in the NAO have morphological and genetic differences. In addition, the populations with different morphological characteristics were not close genetically. Morphological features in the studied populations were within the breed standards, or exceeded them.

Keywords: reindeer breeding, morphological features, genetic diversity, microsatellites.

## Научные собрания



### Фундаментальные вопросы биотехнологии

Фундаментальные исследования в биотехнологии  
Биотехнология надорганизменных систем

### Геномная инженерия

Геномное редактирование в агротехнологиях и биоинженерия  
Геномное редактирование в биомедицине  
Метаболомика растений: основы технологии и области применения  
Терапия онкозаболеваний человека с помощью вирусов  
Умные материалы для диагностики и терапии: возможности синтетической биологии  
Геномная и постгеномная медицина

### Биотехнология и медицина

#### Биофарма

#### Биоинформатика и IT

Биоэкономика (пищевая биотехнология, биоэкология, биотехнологии в сельском хозяйстве, биогеотехнология, биотехнология и образование)