

## ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ РЯДЫ В ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКРАСКИ МЕХОВОГО ПОКРОВА У ПУШНЫХ ЗВЕРЕЙ

© 2020 г. О. В. Трапезов<sup>1,6,\*</sup>, С. Г. Вепрев<sup>1</sup>, Е. М. Колдаева<sup>2</sup>, Е. Г. Сергеев<sup>3</sup>,  
С. В. Фомин<sup>4</sup>, Н. С. Фомина<sup>4</sup>, М. А. Некрасова<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения  
Российской академии наук, Новосибирск, 630090 Россия

<sup>2</sup>Национальный союз племенных организаций, Москва, 107139 Россия

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства, Москва, 140143 Россия

<sup>4</sup>Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Российской академии наук,  
Алеутский краеведческий музей, Камчатский край, 684500 Россия

<sup>5</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, 630039 Россия

<sup>6</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090 Россия

\*e-mail: trapezov@bionet.nsc.ru

Поступила в редакцию 30.04.2020 г.

После доработки 08.06.2020 г.

Принята к публикации 17.06.2020 г.

Установлен фенотипический параллелизм с аналогичными абберациями окраски волосяного покрова у соболей и северных морских котиков с известными мутациями окраски у американской норки. Исходя из сходства в фенотипической изменчивости окраски меха у этих далеких по происхождению видов, можно предположить наличие специфических окрасочных маркеров генной компоненты, обеспечивающей адаптацию к экстремальным условиям среды.

**Ключевые слова:** вавиловский закон гомологической изменчивости, фенотипический параллелизм в окраске, американская норка, соболь, северный морской котик, *Neovison vison*, *Martes zibellina*, *Callorhinus ursinus*.

**DOI:** 10.31857/S0016675820110107

4 июня 1920 г. в г. Саратове на 3-м Всероссийском селекционном съезде Николай Иванович Вавилов доложил свой знаменитый “Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости”. И уже 21 июня 1920 г. в саратовской газете “Окна роста” появляется сообщение под названием: “Открытие профессора Н.И. Вавилова”. “Н.И. Вавилов заметил удивительную повторяемость или периодичность признаков в различных группах или рядах растительного мира, которая дает возможность предсказывать существование неизвестных еще форм наподобие того, как периодическая система Менделеева давала возможность предсказывать существование неизвестных элементов” [1]. То есть в самой формулировке закона гомологических рядов заложена его предсказательная сила, позволяющая выявлять определенные типы и варианты изменчивости у тех видов, у которых они еще не проводились. В 1922 г. доклад был переведен на английский язык и издан в типографии Кембриджского университета [2].

По существу Вавиловым был сформулирован новый методологический принцип исследований

в биологии: трактовка изменчивости в признаках-маркерах генотипа, когда открывается возможность построения селекционных программ, основанных на использовании олигогенов, производящих изменение фенотипа в перспективном направлении, в нашем случае для селекции пушных зверей.

В материалах статьи представлен первый этап направленного поиска генной компоненты параллелизма в изменчивости окраски волосяного покрова у трех видов, принадлежащих к разным таксонам очень далеким по происхождению: северных морских котиков (*Callorhinus ursinus*) из семейства ушастых тюленей (Otariidae), американских норок (*Neovison vison*) и соболей (*Martes zibellina*) из семейства куницеобразных (Mustelidae).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения сравнительного анализа окрасочных форм, зафиксированных у американских норок, с аналогичными окрасками у соболей и северных морских котиков использовалась коллек-

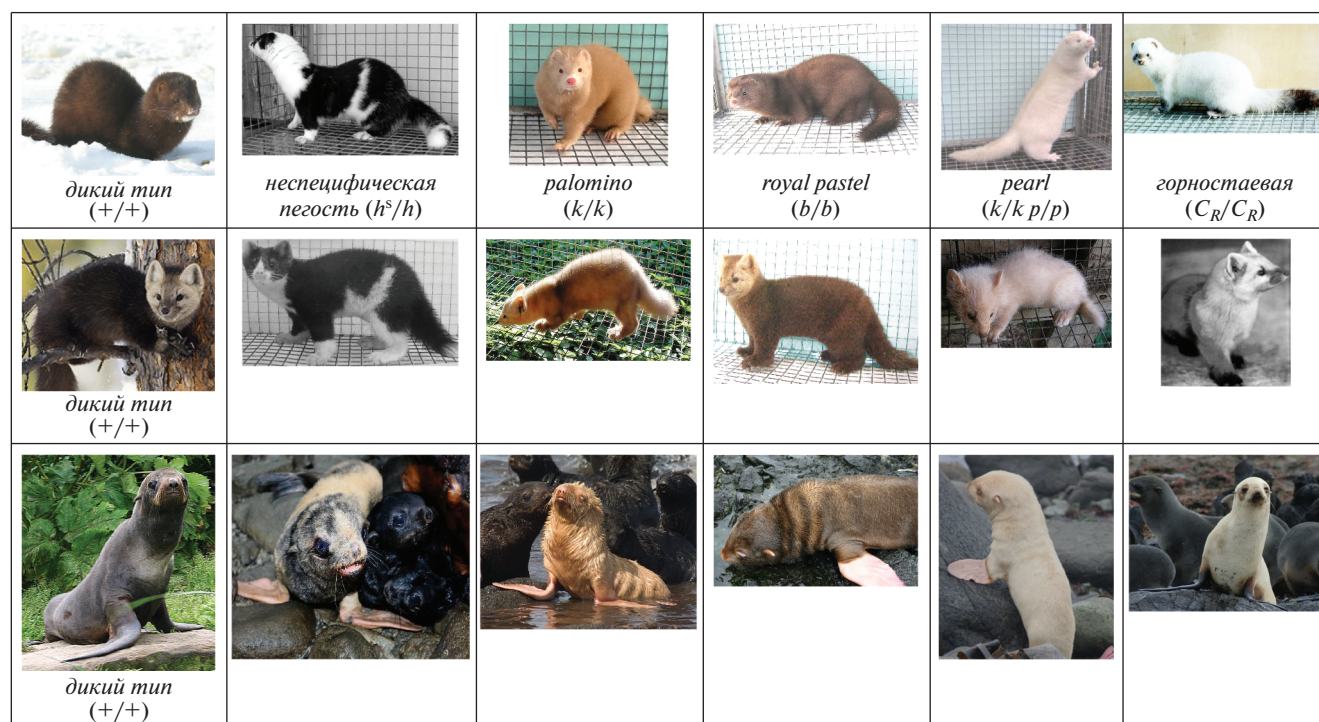


Рис. 1. Фенотипический параллелизм в рядах изменчивости окраски мехового покрова у представителей разных таксонов: американских норок (верхний ряд), соболей (средний ряд) и северных морских котиков (нижний ряд).

ция мутаций окраски на Экспериментальной звероферме Института цитологии и генетики СО РАН.

Для анализа встречаемости окрасочных aberrаций в природных популяциях соболей, изучались: 1) партии шкурок, выставляемые на торги ежегодных международных аукционов в Санкт-Петербурге; 2) шкурки охотничьего промысла географически изолированной популяции соболей *Martes zibellina averini* на территории Алтайского края; 3) популяции соболей клеточного разведения на специализированных российских зверофермах.

Частота окрасочных aberrаций в популяции северных морских котиков регистрировалась в период плановых учетов численности животных на островах Командорского природного биосферного заповедника.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рис. 1 иллюстрирует фенотипический параллелизм хорошо известных мутаций окраски у американской норки с выявленными на сегодня окрасочными aberrациями у соболей и северных морских котиков. Окраска дикого типа (+/+) варьирует от темно-коричневой до черно-бурой. В то же время у всех трех видов, принадлежащих к разным таксонам, обнаруживается хорошо види-

мый фенотипический параллелизм в окрасочных aberrациях.

**Неспецифическая пегость.** У всех трех видов зафиксировано наличие параллелизма в топографии распределения депигментированных участков по туловищу. Гибринологический анализ проявления неспецифической пегости у американской норки показал ее обусловленность компаундом  $h^s/h$  по двум аллелям локуса *hedlund white* ( $+>h^s > h$ ) [3]. Гомозиготы по одному из аллелей ( $h/h$ ) – это животные белой окраски с темными глазами, получившие название *hedlund white*. Белая окраска *hedlund white* ( $h/h$ ) наследуется как моногенный аутосомный признак с неполным доминированием – гетерозиготные особи ( $h/+$ ) имеют обязательный фенотипический маркер – белый кончик хвоста [4]. Норки гомозиготные по другому аллелю ( $h^s/h^s$ ) фенотипически близки к дикому типу (+/+) [5].

У соболей за прошедшие 25 генераций разведения на специализированных российских зверофермах зафиксировано появление зверей с аналогичным, как и у норки  $h^s/h$ , рисунком проявления неспецифической пегости на лапах, кончике хвоста, мордочке и туловище. По результатам гибринологического анализа наследования такого рисунка депигментации было высказано предпо-

ложение о наличии у соболей двух мутаций, определяющих проявление такого рисунка [5].

Для выяснения генетической основы гомологии или аналогии такого рисунка *неспецифической пегости* у этих двух разных видов, относящихся к одному семейству Mustelide, в 2018 г. было проведено полное секвенирование генома белых норок гомозиготных по аллелю *hedlund white (h/h)*. Это позволило в геноме норок (*h/h*) идентифицировать мутации в донорных сайтах сплайсинга генов, кодирующих меланофилин (*MLPH*), а также связанный с микрофтальмией фактор транскрипции (*MITF*), которые регулируют транспорт меланосом и развитие меланоцитов, происходящих из нервного гребня. Обе мутации вызывают нарушения сплайсинга мРНК, которые приводят к сдвигу открытых рамок считывания *MLPH* и *MITF* [6]. Следует упомянуть, что ранее в 2014 г. у норок *hedlund white (h/h)* хотя и была установлена сильная ассоциация между локусом гена *MITF* и окраской, мутаций в кодирующей области данного гена выявлено не было [7].

Абсолютное большинство особей в популяции северного морского котика Командорского архипелага представлено животными с окраской дикого типа. Частота встречаемости окрасочных aberrаций за семь лет наблюдений составила  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  (табл. 1). *Неспецифическая пегость* аналогичная как у норок, так и у соболей, у северных морских котиков также распространена по туловищу, голове и лапам. За семь лет наблюдений частота таких фенотипов составила четыре особи на всю Командорскую популяцию (табл. 1). И все же без молекулярно-генетического анализа невозможно что-либо сказать о характере наследования этой неспецифической окрасочной aberrации у морского котика, поскольку проведение гибридологического анализа невозможно в техническом исполнении.

Как видно из рис. 1, бежевая окраска норок *palomino* имеет фенотипические аналоги как в фермерской популяции соболей, так и среди морских котиков. У норок окраска *palomino* обусловлена гомозиготным состоянием рецессивного аллеля (*k/k*) из серии аллелей ( $+>k^o > k$ ). Норки гомозиготные по аллелю *orchid (k<sup>o</sup>/k<sup>o</sup>)* также фенотипически близки к окраске *palomino* [5, 8]. Проведенное в 2016 г. полное секвенирование генома норок окрасочного генотипа *palomino (k/k)*, выявило большую инсерцию во втором интроне гена *TYRP1*, которая и обуславливает развитие окраски *palomino* [9]. В природных популяциях соболей носители фенотипически аналогичной бежевой окраски норок присутствуют с частотой одна особь на 25–30 тыс. животных [10]. Частота встре-

**Таблица 1.** Частота встречаемости окрасочных aberrаций в Командорской популяции северного морского котика, зафиксированных за семь лет наблюдений

Фенотип	Количество животных	Частота
<i>Дикий тип</i>	238 500	
<i>Неспецифическая пегость</i>	4	$10^{-4}$
<i>Паломино</i>	2	$10^{-5}$
<i>Пастель</i>	2	$10^{-5}$
<i>Жемчужная</i>	1	$10^{-5}$
<i>Горностаевая</i>	1	$10^{-5}$

чаемости похожей окраски у северных морских котиков составила  $10^{-5}$  (табл. 1).

Коричневая окраска *royal pastel (b/b)* у американских норок имеет аналогичную окраску и у соболей, и у морских котиков. Но следует оговориться, что фенотипически одинаковая рецессивная коричневая окраска у норок может быть обусловлена мутациями в совершенно разных локусах. К ним относятся: локусы *imperial pastel (j/j)* и *green eyed pastel (g/g)*. Локус, несущий серию аллелей *moyle: (+>m<sup>c</sup> > m)*. Локус, несущий серию аллелей *ambergold (+>r > r<sup>d</sup>)*. Аллели серии *soklot: wild type > soklot > swedish palomino > finnwhite > nordic buff* обуславливают развитие коричневой окраски разной интенсивности ( $+>t^s > t^p > t^w > t^m$ ) [5, 8]. На основании вавилонских рядов гомологической изменчивости допустимо ожидать присутствие подобного разнообразия аналогичных аллелей, дающих коричневую окраску у норок, в популяциях как соболей, так и северных морских котиков.

Представленные на рис. 1 фенотипические аналоги окрасок *pearl (k/k p/p)* и *горностаевая (C<sub>R</sub>/C<sub>R</sub>)* у норок, обнаружены и у соболей и у морских котиков. Дальнейшее углубленное исследование должно ответить на вопрос: это совершенно разные по своей молекулярной природе мутационные события, которые дали одно и то же фенотипическое выражение, или это полные генетические гомологии? А пока на сегодня с молекулярно-генетической точки зрения не только соболь и северный морской котик, но даже американская норка все еще остаются недостаточно изученными. Это в первую очередь до последнего времени было связано с отсутствием референсного генома.

Все известные на сегодня 35 мутаций, затрагивающие окраску меха американской норки, были выявлены в гибридологических скрещиваниях в условиях клеточного разведения (табл. 2).

**Таблица 2.** Годы регистрации мутантных форм американской норки за весь период их разведения в клеточных условиях

Год	Рецессивные мутации		Доминантные и полудоминантные мутации	
	генетический символ	название	генетический символ	название
1931	<i>p</i>	<i>platinum</i> (Mohr, Tuff, 1939)		
1936	<i>b</i> <i>j</i>	<i>royal pastel</i> (Smith et al., 1941) <i>imperial pastel</i> (Ness et al., 1988)		
1937	<i>c</i>	<i>albino</i> (Hodgson, 1945)	<i>S</i>	<i>Black cross</i> (King, 1951)
1938			<i>W<sup>F</sup></i>	<i>Bluefrost</i> (Hodgson, 1945)
1939	<i>a</i>	<i>aleutian</i> (Shackelford, 1950)		
1941	<i>g</i>	<i>green eyed pastel</i> (Ness et al., 1988)	<i>V</i>	<i>Colmira</i> (Ness et al., 1988)
1942	<i>r<sup>n</sup></i>	<i>nordic buff</i> (Ness et al., 1988)	<i>E</i>	<i>Ebony</i> (Ness et al., 1988)
1944	<i>h</i> <i>r<sup>p</sup></i>	<i>hedlund white</i> (Shackelford, Moore, 1954) <i>swedish palomino</i> (Ness et al., 1988)	<i>S<sup>H</sup></i>	<i>Shadow</i> (Ness, Slagsvold, 1955)
1945	<i>i</i> <i>r<sup>s</sup></i>	<i>imperial platinum</i> (Hodgson, 1945) <i>socklot</i> (Ness et al., 1988)	<i>S<sup>R</sup></i>	<i>Royal silver</i> (Hodgson, 1945)
1946	<i>q</i>	<i>cobalt</i> (King, 1951)	<i>W</i>	<i>Stewart</i> (Iogansson, 1965)
1947	<i>r<sup>w</sup></i> <i>k</i>	<i>finnwhite</i> (Ness et al., 1988) <i>american palomino</i> (King, 1951)		
1949	<i>o</i>	<i>goofus</i> (Shackelford, 1949)		
1952	<i>p<sup>s</sup></i> <i>r</i>	<i>steelblue</i> (Shackelford, 1952) <i>ambergold</i> (King, 1951)		
1956	<i>k<sup>o</sup></i> <i>m</i>	<i>orchid</i> (Marsh et al., 1956) <i>moyle</i> (Ness et al., 1988)		
1957	<i>m<sup>c</sup></i>	<i>cameo</i> (Shackelford, 1952)		
1960			<i>N</i>	<i>Jetblack</i> (Ness et al., 1988)
1963			<i>F</i>	<i>Finnblack</i> (Ness et al., 1988)
1970	<i>r<sup>s</sup></i>	<i>wild glow</i> (Ness et al., 1988)		
1971			<i>S<sup>K</sup></i>	<i>Куйтежская пестрая</i> (Евсиков, 1982)
1973	<i>h<sup>s</sup></i>	<i>неспецифическая пегость</i> (Яковенко, 1977)		
1985			<i>Tl</i>	<i>Талица</i> (Тихомиров, 1991)
1985			<i>C<sub>R</sub></i>	<i>Black Crystal</i> (Трапезов, 1997)
2009	<i>c<sup>h</sup></i>	<i>himalayan</i> (Benkel et al., 2009)		

Первые попытки выявления методами молекулярной генетики конкретных генов и мутаций, обуславливающих многообразие форм окраски меха у норки, заключались в поиске генов-кандидатов, связанных с окраской у норки, по гомологии с окрасками у других животных, для которых у них уже были выявлены гены и мутации. Так в 2007 г. предположили, что окраска меха *silverblue* (*p/p*) у норки связана с геном *MLPH*, кодирующим белок меланофилин, мутация в котором дает похожую окраску шерсти у собак [11]. В 2008 г. у норки была обнаружена мутация обуславливающая альбинизм *regal white* (*c/c*). Как и у других видов, альбинизм у американской норки оказался связан с мутацией в гене *TYR* (с.138Т>А, р.С46Х), кодирующем фермент тирозиназу [12]. У норки с мутацией (с.1835С>G, р.Н420Q) в этом же гене оказалась связана и гималайская окраска меха (*c<sup>h</sup>/c<sup>h</sup>*) [13].

Осуществленное в 2011 г. конструирование и секвенирование ВАС-библиотек с генами-кандидатами позволило выявить у норки еще две мутации, ответственные за различные окраски меха [14]. В 2013 г. обнаружена мутация в гене *LYST* (с.9468delС, р. Leu3156Phefs\*37), обуславливающая у норки окраску *aleutian* (*a/a*) [15]. В этом же году были выявлены две крупные делеции в интронах гена *MPLH* у норки *silverblue* (*p/p*) [16].

В итоге на сегодняшний день молекулярно-генетическими методами у американской норки охарактеризованы пока четыре из 35 мутаций, вовлеченные в формирование окраски меха. Выявление всех локусов, определяющих окраску у норки, позволит приступить к последующему составлению полной генетической характеристики окрасочных гомологических рядов у соболей и северных морских котиков. Хотя следует отметить, что попытка составить первое представление о молекулярно-генетической картине генома соболя (пока на основе анализа микросателлитных локусов) уже началась [17, 18].

Начиная с работы выдающегося отечественного генетика-эволюциониста С.С. Четверикова, было показано, что вид, словно губка, насыщен огромным количеством мутаций, скрытых под покровом стандартного фенотипа и удерживающихся в природных популяциях в оптимальной концентрации под контролем естественного отбора [19].

Можно допустить, что рецессивные мутации окраски возникли у всех трех рассматриваемых нами видов в ходе естественного мутационного процесса, и присутствуют в природных популяциях в оптимальной концентрации в гетерозиготном состоянии под покровом дикого фенотипа [20–22].

Несмотря на эвристически сильную сторону вавилонского закона о гомологической изменчивости, наличие фенотипического параллелизма казалось бы противоречит дарвиновскому положению о неопределенной изменчивости, что послужило в свое время основой для формирования толкования эволюции на основе закономерностей. Так, автор номогенеза Л.С. Берг настаивал на том, что своими выводами Н.И. Вавилов иллюстрирует его идею более успешно, чем он это делает в своей работе [23]. Несомненно Н.И. Вавилов видел эти трудности в применении концепции гомологической изменчивости: “Одинаковые изменения фенотипического порядка могут быть вызваны и разными генами...” [24]. То есть совершенно разные по своей молекулярной природе мутационные события могут дать одно и то же морфологическое или физиологическое изменение.

Возможно ли истолковывать феномен параллелизма-изоморфизма в аберрациях окраски у представителей трех разных таксонов (котиков, норки и соболей) без анализа их адаптивной ценности? Вряд ли, — ведь любое проявление такого характера изменчивости (кстати как и любой другой изменчивости), проходит оценку на адаптивность естественным отбором [25].

Как показали в 1970-х годах модельные эксперименты Д.К. Беляева, резкие изменения среды, провоцируя состояние стресса, мобилизуют в популяциях животных скрытую генетическую изменчивость, что в свою очередь, облегчает поиск и отбор наиболее адаптивных к экстремальным условиям жизни вариантов животных [26]. Так, в экспериментах, проведенных на американской норке, было показано, что гетерозиготность по локусам окраски дает селективное преимущество их носителям по сравнению с гомозиготными формами по тем же локусам окраски в условиях экстремального дефицита в кормовой обеспеченности [27, 28]. Применимы ли параллели с гетерозиготностью по мутациям окраски у американских норки к соболям и северным морским котикам?

Внешнее сходство в аберрациях окраски у северных морских котиков, американских норки и соболей не дает оснований (без полного молекулярно-генетического анализа) судить о сходстве фенотипического порядка — его можно отнести к разряду изоморфизма. Но в то же время, исходя из поразительного параллелизма в фенотипической изменчивости по аберрациям окраски у рассматриваемых трех видов достаточно далеких по происхождению, можно подразумевать наличие специфической генной компоненты, попадающей под давление сходного канала отбора, обеспечивающего адаптацию к экстремальным условиям среды через формирование признаков с го-

мологичными или аналогичными фенотипами, в том смысле, в каком это понимал Н.И. Вавилов.

Работа поддержана Проектом ИЦиГ СО РАН № 0324-2019-0041.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытие профессора Н.И. Вавилова. “Окна роста” Саратов: 21 июня 1920 года.
2. *Vavilov N.I.* The low of homologous series in variation // *J. Genetics*. 1922. XII. P. 47–89.
3. *Яковенко Ю.А.* Генетика окраски пестрых норок // *Биология и патология пушных зверей*. Киров: 1977. С. 12–14.
4. *Shackelford R.M., Moore W.D.* Genetic basis of some white phenotypes in the ranch mink // *J. Heredity*. 1954. V. 45. P. 173–176.
5. *Колдаева Е.М.* Генетика и селекция (книга первая). М.: ФГУП Издательство “Известия”, 2004. 296 с.
6. *Manakhov A.D., Andreeva T.V., Trapezov O.V. et al.* Genome analysis identifies the mutant genes for common industrial Silverblue and Hedlund white coat colours in American mink // *Sci. Rep.* 2019. V. 9. P. 45–81. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40918-7>
7. *Markakis M.N., Soedring V.E., Dantzer V. et al.* Association of MITF gene with hearing and pigmentation phenotype in Hedlund white American mink (*Neovison vison*) // *J. Genet.* 2014. V. 93. P. 477–481.
8. *Nes N., Einarsson E., Lohi O.* Beautiful für animals and their colour genetics. Glosstrup, Denmark: Published by Scientifur, 1988. 271 s.
9. *Cirera S., Marcacis M.N., Kristqanen T. et al.* A large insertion in intron 2 of the TYRP1 gene associated with American Palomino phenotype in American mink // *Mamm. Genome*. 2016. V. 27. P. 135–143.
10. *Бакеев Н.Н., Монахов Г.И., Синуцын А.А.* Соболь. 2-е изд. Вятка: 2003. 336 с.
11. *Anistoroaei R., Christensen K.* Mapping of the silver gene in mink and its association with the dilution gene in dog // *Cytogenet. Genome Res.* 2007. V. 116. P. 316–318.
12. *Anistoroaei R., Fredholm M., Christensen K. et al.* Albinism in the American mink (*Neovison vison*) is associated with a tyrosinase nonsense mutation // *Anim. Genet.* 2008. V. 39. P. 645–648.
13. *Benkel B.F., Rouvinen-Watt K., Hossain Farid A.* Molecular characterization of the Himalayan mink // *Mammalian Genome*. 2009. V. 20(4). P. 256–259.
14. *Anistoroaei R., Hallerws B., Nefedov M. et al.* Construction of an American mink Bacterial Artificial Chromosome (BAC) library and sequencing candidate genes important for the fur industry // *BMC Genomics*. 2011. V. 12. № 1. P. 354–360.
15. *Anistoroaei R., Krogh A.K., Christensen K.* A frameshift mutation in the LYST gene is responsible for the Aleutian color and the associated Chediak-Higashi syndrome in American mink // *Anim. Genet.* 2013. V. 44. P. 178–183.
16. *Cirera S., Markakis M.N., Christensen K. et al.* New insights into the melanophilin (MLPH) gene controlling coat color phenotypes in American mink // *Gene*. 2013. V. 527. P. 48–54.
17. *Каптанов С.Н., Свищева Г.Р., Пищулина С.Л. и др.* Географическая структура генофонда соболя (*Martes zibellina*): данные анализа микросателлитных локусов // *Генетика*. 2015. Т. 51. № 1. С. 78–88. doi 10.7868/S00166758501004X
18. *Каптанов С.Н., Столповский Ю.А., Мещерский И.Г. и др.* Таксономический статус и генетическая идентификация соболя Алтая (*Martes zibellina averini* Vazhanov 1943) // *Генетика*. 2018. Т. 54. № 11. С. 1327–1337.
19. *Четвериков С.С.* О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики // *Журн. эксперим. биологии*. 1926. Т. 2. Вып. 1. С. 3–54.
20. *Беляев Д.К.* Первые итоги разведения цветных норок в звероводческих совхозах // *Бюл. науч.-техн. информ. НИИ пушного звероводства и кролиководства*. 1958. № 3. С. 10–13.
21. *Беляев Д.К.* Применение генетических принципов в разведении норок // *Бюл. МОИП. Отд. биол.* 1959. Т. 64. Вып. 3. № 3. С. 103–115.
22. *Беляев Д.К., Евсиков В.И.* Генетика плодовитости животных. Сообщение I. Влияние мутаций окраски меха на плодовитость норок // *Генетика*. 1967. № 2. С. 21–33.
23. *Берг Л.С.* Труды по теории эволюции. 1922–1930. Л.: Наука, 1977. 387 с.
24. *Вавилов Н.И.* Научные основы селекции пшеницы // *Избр. произведения: в 2-х т.* Л.: Наука, 1967. Т. 2. С. 7–259.
25. *Медников Б.М.* Современное состояние проблемы вида и видообразования // *Вавиловское наследие в современной биологии*. М.: Наука, 1989. 368 с.
26. *Belyaev D.K., Borodin P.M.* The influence of stress on variation and its role in evolution // *Biol. Zentralbl.* 1982. V. 100. P. 705–714.
27. *Трапезов О.В., Беляев Д.К.* О роли гетерозиготности норок в экстремальных условиях кормовой обеспеченности // *Закономерности онтогенетической эволюции животных*. Тюмень: Изд-во Тюменского ун-та, 1978. С. 34–36.
28. *Трапезов О.В., Маркель А.Л.* Влияние мутаций окраски на функцию надпочечников при хроническом кормовом стрессе у американской норки // *Генетика*. 1989. Т. 25. № 3. С. 508–512.

## The Homological Series in the Variability of the Coat Color in Fur Animals

O. V. Trapezov<sup>a,f,\*</sup>, S. G. Veprev<sup>a</sup>, E. M. Koldaeva<sup>b</sup>, E. G. Sergeev<sup>c</sup>,  
S. V. Fomin<sup>d</sup>, N. S. Fomina<sup>d</sup>, and M. F. Nekrasova<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia

<sup>b</sup>National Union of Tribal Organizations, Moscow, 107139 Russia

<sup>c</sup>Research Institute of Fur Breeding and Rabbit Breeding, Moscow, 140143 Russia

<sup>d</sup>Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,  
Aleutian Museum of Local Lore, Kamchatka region, 684500 Russia

<sup>e</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, 630039 Russia

<sup>f</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090 Russia

\*e-mail: trapezov@bionet.nsc.ru

Phenotypic parallelism has been established with similar aberrations of coat color in sables and northern fur seals with known fur color mutations in American mink. Based on the similarities in the phenotypic variability of the coat color in these species of distant origin, we can imply the presence of specific coloring markers of the gene component, which ensures adaptation to extreme environmental conditions.

**Keywords:** the low of homologous series in variation, American mink, phenotypic concurrency in color, American mink, sable, northern fur seal, *Neovison vison*, *Martes zibellina*, *Callorhinus ursinus*.