

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2023.1.234

УДК 636.1.082.12

## АНАЛИЗ АССОЦИАЦИЙ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ MSTN, CAST, PRLR С ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫМИ КАЧЕСТВАМИ ЛОШАДЕЙ ВЯТСКОЙ ПОРОДЫ

Белоусова Н.Ф.1 – канд. с.-х. н., ст. науч. сотр. отд. селекции (ORCID: 0000-0003-0515-0123), Басс С.П.2\* – канд. с.-х. н., доц. каф. кормления и разведения с.-х. животных (ORCID:0000-0003-3979-1279), Зиновьева С.А. 3- канд. биол. н., доц. каф. частной зоотехнии (ORCID 0000-000 3-0593-2344), Сорокин С.И.1 – канд. с.-х. н., консультант генетич. лаборатории (ORCID:0000-0002-0012-413X), Атнабаева Н.А.2 – канд. филол. н., доц. каф. иностранных языков.(ORCID 0000-0001-9773-4550) 1-Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства», 2-Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет», 3-Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина»

**Ключевые слова:** лошади, вятская порода, генетика, селекция, ДНК-маркеры, оценка генотипа, MSTN, CAST, PRLR.

**Keywords:** horses, Vyatka breed, genetics, breeding, DNA markers, genotype assessment, MSTN, CAST, PRLR

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации согласно тематическому плану ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (тема № 122020300065-3).

### РЕФЕРАТ

Изучена связь полиморфных вариантов генов MSTN, CAST, PRLR с рабочими качествами и типами телосложения лошадей вятской породы. Цель исследований: оценка генетического и селекционного потенциала вятской породы, а также изучение взаимосвязи генотипов MSTN, CAST, PRLR с хозяйственно-полезными качествами лошадей. Методы: Выделение ДНК из волосяных луковиц вятских лошадей проводили с помощью «ExtraGene DNA Prep». При сканировании мутаций в локусах MSTN (n=43), CAST (n=41) и PRLR (n=41), амплификацию ДНК выполняли методом аллель-специфической ПЦР. Расчеты частоты встречаемости аллелей и генотипов проводили с помощью MS Excel 10. Результаты исследований: Отмечена зависимость рабочих качеств вятских лошадей от частоты встречаемости аллелей миостатина MSTN (g.66493737 T>C). Лошади с большей встречаемостью аллеля MSTN/C обладают более производительными движениями, чем особи с типичным для аборигенов генотипом T/T. Вятки с генотипом T/T более универсальны, а также проявляют лучшие результаты в работе в упряжи, а лошади с генотипом T/C – под седлом. Лошади с генотипом T/T обладают наибольшим индексом костистости при наименьшем индексе массивности. У вятских лошадей преобладает гомозиготный по «диному» аллелю генотип MSTN T/T (0,581). Впервые в коневодстве выявлена связь типов телосложения с геном кальпастина (CAST). Наиболее массивными и костистыми оказались лошади с генотипом G/A, более облегченными – с геноти-

пом A/A, отмечена наибольшая частота встречаемости генотипа CAST G/A (0,463), генотип CAST G/G встречается в породе редко (0,171). Не выявлена взаимосвязь частоты встречаемости генов рецепторов пролактина (PRLR) с типами телосложения лошадей. Частота встречаемости генотипов PRLR C/C (0,366) и PRLR G/C (0,390) примерно идентична, генотип PRLR G/G встречается реже (0,244). Исследование всех племенных жеребцов по генам, связанным с хозяйственно-полезными качествами, даст возможность более эффективно вести селекцию, используя желательные генотипы, что актуально для малочисленных пород.

## ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Вятская порода – уникальная аборигенная порода лошадей северного лесного типа, известная с XIV столетия [1]. Лошади вятской породы отличаются разносторонними хозяйственно-полезными признаками, в том числе универсальностью использования на различных работах [2]. Численность поголовья вятских лошадей составляет 760 голов, из которых 250 кономаток [1]. По современным критериям ФАО эта малочисленная порода имеет уязвимый статус, поэтому селекционно-племенная работа должна быть неразрывно связана с генетическими методами [3]. Использование результатов генетических исследований позволиткратно увеличить интенсивность селекции и получить сведения о генетических комплексах, ассоциированных с хозяйственно-биологическими качествами и основными селекционируемыми признаками лошадей [4].

В последние годы российские ученые работают по внедрению технологии геномного анализа при проведении фундаментальных исследований в целях улучшения селекции лошадей отечественных пород [5-10]. На основании обобщения анализа изучения полиморфизма структурных генов и участков ДНК (STR, SNP) лошадей представлены направления использования маркерной селекции в отрасли [4]. Исследования в данном направлении начаты и по вятской породе [1, 11,12].

Одним из известных генов, ассоциированных с работоспособностью лошадей, является миостатин (MSTN), который синтезируется в скелетных мышцах и относится к группе TGF- $\beta$  факторов, подавляющих рост и дифференциацию тка-

ней. Структурные мутации в кодирующей последовательности MSTN вызывают увеличение массы скелетных мышц у многих видов млекопитающих, поэтому исследование данного гена немаловажно для селекции [7, 9, 13]. У лошадей выявлены мутации g.66493737T и g.66493737C [5-9,14]. Результаты изучения полиморфизма миостатина по нуклеотидной замене g.66493737T>C свидетельствуют, что данный мутантный аллель типичен для многих местных конских пород [6-10]. Выявление в локусе MSTN мутации g.66493737T у лошадей аборигенных популяций позволяет предположить её наличие в геноме диких предков лошадей [9]. Отсутствие у осла и зебры SNP g.66493737C дает основание сделать вывод о более древнем (диком) типе T-замены [6]. Исследования установили взаимосвязь полиморфизма g.66493737T>C со стайерскими качествами быстроаллюрных лошадей. У лошадей с генотипом C/C выявлена способность резвого броска на коротких дистанциях, в то время как C/T чаще всего обнаруживается у лошадей способных к проявлению лучшей резвости на средних дистанциях. Лошади, имеющие генотип T/T, являются лучшими стайерами [5,13,14]. Аллель MSTN/C распространился среди лошадей чистокровной английской породы во второй половине 20-го века из-за роста популярности скачек на короткие дистанции [15]. Вследствие отбора исключительно по резвости на спринтерские дистанции мутация гена MSTN/C зафиксирована в скаковых линиях американской четвертьмильной породы [16].

Выявлена взаимосвязь гена миостатина с результатами участия в конноспортивных соревнованиях, а также с проме-

рами и телосложением лошадей, так, лошади с генотипами C/C и C/T превосходят особей с генотипом T/T по спортивным качествам в конноспортивных дисциплинах, а также по промерам [17]. Жеребцы с генотипом C/C превосходили животных с генотипами C/T и T/T по индексу широкотелости - соотношению обхвата груди к высоте в холке [13]. Лошади с гетерозиготным генотипом MSTN C/T имеют некоторые преимущества по числу стартов и количеству призовых мест в соревнованиях по конкуру [7,18].

Аллель MSTN/C характерен не только для полукровных пород, происходящих от чистокровных верховых, но и обнаружен в большинстве аборигенных популяций лошадей разной географической обособленности, в том числе с небольшой частотой встречается в 10-ти российских местных породах [8-10,15]. Гомозиготный по данной мутации генотип среди исследованных отечественных аборигенных пород выявлен только у вятков [9]. Ввиду небольшой частоты встречаемости мутантные аллели MSTN/C не имеют селекционной значимости для таких пород [10]. Ученые предполагают, что генетический полиморфизм, связанный с желательными фенотипами призовых пород, присутствовал у древних лошадей. В процессе одомашнивания лошадей с дальнейшим породообразованием отбор по признакам селекции проводился не по мутациям *de novo*, а по генетическим вариациям, существовавшим в одомашненном поголовье древних популяций [19].

При выявлении генов-маркеров хозяйственно-полезных признаков отдельный интерес могут представлять другие исследования, затрагивающие генетическую обусловленность различных физиологических процессов. К таким генетическим факторам можно отнести, малоизученные еще у лошадей, гены кальпастатина (CAST) и рецептора пролактина (PRLR). Белок, кодируемый геном CAST, является эндогенным ингибитором кальпаина (кальций-зависимой цистеиновой протеазы). Он участвует в протеолизе белка-предшественника амилоида. Система

кальпаин/кальпастатин участвует в многочисленных событиях слияния мембран, таких как экзоцитоз нервных пузырьков и агрегация тромбоцитов и эритроцитов [20]. Достаточно широко полиморфизм гена CAST изучен у овец, где данные исследования начаты с 1998 г., и уже в 1999 г. В. R. Palmer и др. обнаружили влияние кальпастатина на скорость роста и качество мяса [21, 22]. Позже была выявлена определенная связь полиморфных вариантов гена CAST с живой массой баранов [23], а также - с показателями среднесуточного прироста и промеров овец [24]. Результаты исследований гена CAST российских ученых в овцеводстве, показали, что он кодирует факторы роста, их рецепторы, транспортные и регуляторные белки, т.е. участвует в формировании мышечной массы и, следовательно, оказывает влияние на интенсивность роста [25-29]. Этот ген связан как с увеличением веса, так и с качеством туши [30]. Таким образом, CAST предлагается рассматривать в качестве потенциального фактора контроля развития домашнего скота [31]. Ученые выявили положительную связь полиморфных вариантов гена CAST с типами и индексами телосложения овец [24]. Отмечена взаимосвязь генов кальпаин-кальпастатиновой системы, в частности CAST, с экстерьером, типом телосложения и динамикой живой массы крупного рогатого скота [32]. В коневодстве ген кальпастатина (CAST) не изучен.

Ген PRLR детерминирует рецептор гормона передней доли гипофиза – пролактина, который в организме млекопитающих участвует в регуляции роста, метаболизма и размножения [33]. Ген рецепторов проталактина (PRLR) – один из самых универсальных гормонов гипофиза, он является потенциальным генетическим маркером признаков молочной продуктивности в животноводстве. Функция пролактина – стимуляция развития молочных желез, образование и секреция молока [34]. Отмечено влияние генотипов рецептора пролактина (PRLR) на молочную продуктивность коров [35], также определены желательные генотипы в се-

**Таблица 1**

**Зависимость рабочих качеств вятских лошадей от частоты встречаемости аллелей миостатина *MSTN* (g.66493737 T>C)**

Рабочие качества	n	Генотип			Аллель	
		T/T	T/C	C/C	C	T
Оценка качества движений (баллы)						
7,5 и менее	17	0,765	0,235	-	0,118	0,882
8	17	0,588	0,353	0,059	0,235	0,765
8,5 и более	9	0,222	0,556	0,222	0,500	0,500
Направление использования и испытаний						
универсальное	9	0,667	0,222	0,111	0,222	0,778
под седлом	19	0,474	0,526	-	0,263	0,737
в упряжи	4	0,750	-	0,250	0,250	0,750

лекции крупного рогатого скота по молочной продуктивности [36]. Определенные связи выявлены и между генотипами PRLR и яичной продуктивностью кур [37]. Наибольшую изученность в животноводстве представляет исследование полиморфизма рецептора пролактина (PRLR), достоверно ассоциированное с воспроизводительными качествами свиноматок [38-41]. У лошадей нуклеотидные полиморфизмы в гене PRLR не исследованы. Однонуклеотидный полиморфизм (SNP) является наиболее распространенной формой генетической изменчивости и источником полезных генетических признаков. SNP в кодирующих областях гена PRLR были обнаружены с помощью полимеразной цепной реакции - одноцепочечного конформационного полиморфизма (SSCP) и секвенирования ДНК на китайских лошадях Йили [42]. Немецкие ученые выявили ассоциации гена рецептора пролактина с воспроизводительными качествами жеребцов ганновской породы [43].

Научная новизна. Впервые был проведен комплексный внутрипопуляционный геномный анализ вятской породы лошадей в связи с ее хозяйственно-полезными признаками. Ассоциации полиморфных вариантов генов кальпастина (CAST) и рецепторов пролактина (PRLR) в коневодстве не изучены.

Цель исследований: оценка генетического и селекционного потенциала вятской породы, а также изучение взаимосвязи полиморфных вариантов генов MSTN, CAST, PRLR с рабочими качествами и типами телосложения лошадей.

#### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ / MATERIALS AND METHOD**

Объектом исследования являлись лошади вятской породы. Выделение ДНК из волосных луковиц лошадей проводили на базе Независимой исследовательской лаборатории «ХорсГен» (г. Москва) при использовании набора «ExtraGene DNA Prep» (производство «Изоген», г. Москва). При сканировании мутаций в локусах MSTN (n=43), CAST (n=41) и PRLR (n=41), амплификацию ДНК выполняли методом аллель-специфической ПЦР с применением подобранных праймеров. Расчеты частоты встречаемости аллелей и генотипов локусов (P) выполняли с помощью программы Microsoft Excel 10.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS**

Перспективным направлением в коневодстве в настоящее время является селекция по маркерам, ассоциированным с хозяйственно-полезными признаками. Нами исследована взаимосвязь полиморфных вариантов генов MSTN, CAST, PRLR и рабочими качествами и типами телосложения лошадей вятской породы.

Таблица 2

Средняя балльная оценка качества движений лошадей вятской породы разных генотипов *MSTN*

Генотип	n	M	m	Min	Max
<i>MSTN T/T</i>	25	7,70	0,087	7,00	8,50
<i>MSTN T/C</i>	15	8,10	0,131	7,50	9,00
<i>MSTN C/C</i>	3	8,50*	0,289	8,00	9,00
Среднее	43	7,895	0,079	7,00	9,00

\* $P \leq 0,05$

Таблица 3

Частота встречаемости генотипов и аллелей гена миостатина *MSTN* (g.66493737 T>C) у вятских лошадей разных типов телосложения

Тип и индекс телосложения	n	Генотип			Аллель	
		<i>T/T</i>	<i>T/C</i>	<i>C/C</i>	<i>T</i>	<i>C</i>
ВСЕГО	43	0,581	0,249	0,069	0,756	0,244
Тип телосложения						
облегченный	18	0,500	0,444	0,056	0,722	0,278
средний	12	0,667	0,333	-	0,833	0,167
массивный	12	0,583	0,250	0,167	0,708	0,292
Индекс массивности:						
менее 120,0	11	0,818	0,182	-	0,909	0,091
120,0-122,0	13	0,308	0,615	0,077	0,615	0,385
более 122,0	18	0,611	0,278	0,111	0,750	0,250
Индекс костистости						
менее 13,5	11	0,727	0,182	0,091	0,818	0,182
13,5-14,0	14	0,286	0,643	0,071	0,607	0,393
более 14,0	17	0,706	0,235	0,059	0,824	0,176

Таблица 4

Средние индексы телосложения лошадей вятской породы по генотипам *MSTN*, *CAST* и *PRLR* ( $M \pm m$ )

Индексы телосложения %	Генотип <i>MSTN</i>			Генотип <i>CAST</i>			Генотип <i>PRLR</i>		
	<i>T/T</i>	<i>T/C</i>	<i>C/C</i>	<i>A/A</i>	<i>G/A</i>	<i>G/G</i>	<i>C/C</i>	<i>G/C</i>	<i>G/G</i>
n	24	15	3	10	12	2	9	10	5
Массивности	121,7±0,76	122,3±0,96	122,3±1,44	121,4±0,47	122,0±0,54	121,1±0,74	120,2±0,50	123,1±1,09*	121,3±1,78
Костистости	13,92±0,13	13,81±0,11	13,72±0,21	13,38±0,07	13,80±0,08***	13,73±0,03	13,64±0,14	13,45±0,11	13,87±0,13*

\* $P \leq 0,05$ ; \*\*\* $P \leq 0,001$

Выявлена зависимость рабочих качеств вятских лошадей от частоты встречаемости аллелей миостатина MSTN (g.66493737 T>C) (таблица 1).

Среди преобладающих направлений использования и испытаний работоспособности, в которых отмечены наибольшие успехи, более универсальными качествами обладают вятские лошади с генотипом MSTN T/T, этот же генотип преобладает и у лошадей, проявляющих свои лучшие достижения в испытаниях в упряжи. Наилучшие результаты в работе под седлом показывают лошади с гетерозиготным генотипом MSTN T/C. Лошади с более высокой частотой встречаемости аллеля MSTN/C обладают более производительными движениями, среди протипированных лошадей с редким для местных пород генотипом MSTN C/C не выявлены животные, оцененные по качеству движений на уровне 7,5 баллов и ниже, в то время как среди особей с типичным для аборигенов генотипом MSTN T/T отмечены менее производительные движения на рыси, при относительно небольшом захвате пространства, что более характерно для представителей местных пород. Данные результаты подтверждает средняя оценка качества движений в зависимости от генотипа MSTN (таблица 2). Так у лошадей с генотипом MSTN C/C выявлена статистически значимое превосходство по качеству движений над группой животных с генотипом MSTN T/T ( $P \leq 0,05$ ).

В целом, у лошадей вятской породы преобладает гомозиготный по «диному» аллелю генотип MSTN T/T (0,581) (таблица 3). Не характерный для аборигенов гомозиготный генотип MSTN C/C отмечен всего у трех исследованных животных (0,069).

Анализ не выявил ощутимой взаимосвязи частоты встречаемости генотипов и аллелей генов миостатина (MSTN) с типами телосложения, вместе с тем лошади с генотипом T/T обладают наибольшим расчетным показателем индекса костистости при наименьшем индексе массивности (таблица 4).

Выявлены статистически значимые

различия по индексу массивности в пользу лошадей с генотипом PRLR G/C по сравнению с группой, имеющий генотип PRLR C/C ( $P \leq 0,05$ ). Следует так же отметить, что наибольшим показателем костистости обладают представители с генотипом PRLR G/G 13,87 %, что больше, чем в группе лошадей вятской породы с генотипом PRLR C/C на 0,42 % ( $P \leq 0,05$ ). Сравнительный анализ генотипа кальпастатина CAST выявил более костистых представителей CAST G/A по сравнению с лошадьми имеющих генотип CAST A/A ( $P \leq 0,001$ ).

Полиморфизм гена CAST представлен тремя генотипами: гомозиготными A/A, G/G и гетерозиготным G/A. Результаты исследования частоты встречаемости генотипов и аллелей гена кальпастатина CAST (g. 68930615 G>A) у вятских лошадей разных типов телосложения представлены в таблице 5.

При изучении полиморфизма гена кальпастатина (CAST) наиболее массивными и костистыми оказались лошади с гетерозиготным генотипом CAST G/A, особи с гомозиготным генотипом CAST A/A представляли более облегченное сложение (таблицы 4, 5). В целом отмечена наибольшая частота встречаемости генотипа CAST G/A (0,463), генотип CAST G/G встречается в вятской породе достаточно редко (0,171) (таблица 5).

Полиморфизм гена PRLR представлен тремя генотипами: гомозиготными C/C, G/G и гетерозиготным G/C. Результаты исследования частоты встречаемости генотипов и аллелей рецептора пролактина PRLR (g. 394089265 G>C) у вятских лошадей разных типов телосложения представлены в таблице 6.

Исследования не выявили взаимосвязи частоты встречаемости генотипов и аллелей рецепторов пролактина PRLR с типами телосложения лошадей (таблицы 4, 6). Частота встречаемости генотипов PRLR C/C (0,366) и PRLR G/C (0,390) примерно идентична, генотип PRLR G/G встречается с наименьшей частотой (0,244).

## ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Идентифицирована зависимость рабо-



Таблица 5

**Частота встречаемости генотипов и аллелей гена кальпастина *CAST* (g. 68930615 G>A) у вятских лошадей разных типов телосложения**

Тип и индекс телосложения	n	Генотип			Аллель	
		A/A	G/A	G/G	G	A
ВСЕГО	41	0,366	0,463	0,171	0,402	0,598
Тип телосложения:						
облегченный	14	0,500	0,429	0,071	0,286	0,714
средний	22	0,318	0,409	0,273	0,477	0,523
массивный	5	0,200	0,800	-	0,400	0,600
Индекс массивности:						
менее 120,0	6	0,500	0,500	-	0,250	0,750
120,0-122,0	10	0,400	0,400	0,200	0,400	0,600
более 122,0	7	0,429	0,571	-	0,286	0,714
Индекс костистости:						
менее 13,5	12	0,667	0,333	-	0,167	0,833
13,5-14,0	7	0,286	0,428	0,286	0,500	0,500
более 14,0	4	-	1,000	-	0,500	0,500

Таблица 6

**Частота встречаемости аллелей рецептора пролактина *PRLR* (g. 394089265 G>C) у вятских лошадей разных типов телосложения**

Тип и индекс телосложения	n	Генотип			Аллель	
		C/C	G/C	G/G	C	G
ВСЕГО	41	0,366	0,390	0,244	0,561	0,439
Тип телосложения						
облегченный	14	0,357	0,429	0,214	0,571	0,429
средний	22	0,364	0,364	0,272	0,545	0,455
массивный	5	0,400	0,600	-	0,600	0,400
Индекс массивности:						
менее 120,0	6	0,500	0,333	0,167	0,667	0,333
120,0-122,0	10	0,500	0,200	0,300	0,600	0,400
более 122,0	7	-	0,857	0,143	0,249	0,571
Индекс костистости						
менее 13,5	12	0,250	0,667	0,083	0,583	0,417
13,5-14,0	7	0,571	0,143	0,286	0,643	0,357
более 14,0	4	0,250	0,250	0,500	0,625	0,375

чих качеств вятки от частоты встречаемости аллелей миостатина (*MSTN*). Лошади с более высокой частотой встречаемости аллеля *MSTN/C* обладают более производительными движениями на рыси, чем особи с типичным для аборигенов генотипом *T/T*. Вятки с генотипом *T/T* более универсальны, а также проявляют лучшие результаты в работе в упряжи, а лошади с

генотипом *T/C* – под седлом. Лошади с генотипом *T/T* обладают наибольшим индексом костистости при наименьшем индексе массивности. Выявлены статистически значимые различия по индексу массивности в пользу лошадей с генотипом *PRLR G/C* по сравнению с группой, имеющий генотип *PRLR C/C* ( $P \leq 0,05$ ). Более костистыми являются представите-

ли с генотипом PRLR G/G что больше, чем в группе лошадей вятской породы с генотипом PRLR C/C ( $P \leq 0,05$ ). Сравнительный анализ генотипа кальпастатина CAST выявил более костистых представителей CAST G/A по сравнению с лошадьми имеющих генотип CAST A/A ( $P \leq 0,001$ ).

Впервые в коневодстве выявлена связь типов телосложения с геном кальпастатина (CAST). Наиболее массивными и костистыми оказались лошади с генотипом G/A, более облегченными – с генотипом A/A, отмечена наибольшая частота встречаемости генотипа CAST G/A (0,463). Исследования не выявили взаимосвязь частоты встречаемости генотипов и аллелей рецепторов пролактина (PRLR) с типами телосложения лошадей.

Генотипирование всех используемых жеребцов-производителей по генам, ассоциированным с хозяйственно-полезными признаками, позволит более эффективно вести селекцию в вятской породе с использованием желательных генотипов, что особенно актуально для малочисленных пород. Также в целях повышения эффективности селекционно-племенной работы, сохранения и совершенствования пород лошадей необходимо расширить перечень доступных в России методик ДНК-генотипирования других не исследованных маркеров животных, особенно имеющих наиболее важное хозяйственное значение.

**Acknowledgments** *The work was financially supported by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation in accordance with the thematic plan of the Izhevsk State Agricultural Academy (subject no. 122020300065-3).*

#### ANALYSIS OF POLYMORPHIC VARIANTS OF MSTN, CAST, P

#### RRLR GENES ASSOCIATIONS WITH ECONOMICALLY USEFUL QUALITIES OF VYATKA BREED HORSES.

Belousova N.F., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of Breeding Department, Bass S.P. Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Feeding and Breeding of agricultural animals Department, Zinovieva S.A. Candidate

of Biological Sciences, Associate Professor of Private Animal Husbandry Department, Sorokin S.I. Candidate of Agricultural Sciences, Genetic Laboratory Consultant, Atnabaeva N.A. Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of Foreign Languages Department.

1-Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Horse Breeding», 2-Federal state budget education institution for higher education «Udmurt state agricultural university», 3-Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Scriabin»

#### ABSTRACT

The relationship of polymorphic variants of MSTN, CAST, PRLR genes with working qualities and body types of Vyatka horses was studied. The purpose of the research is to assess the genetic and breeding potential of the Vyatka breed horses, as well as to study the relationship between the MSTN, CAST, PRLR genotypes and the economically useful qualities of horses. The method of DNA extraction from Vyatka horse hair follicles using ExtraGene DNA Prep. was applied. When scanning the mutations in the loci MSTN ( $n=43$ ), CAST ( $n=41$ ) and PRLR ( $n=41$ ), DNA amplification the method of allele-specific PCR was performed. The frequency of alleles and genotypes was calculated using MS Excel 10. As a result of research, the dependence of Vyatka horses working qualities on the frequency of occurrence of myostatin MSTN alleles (g.66493737 T>C) was noted. The horses with a higher occurrence of the MSTN/C allele have more productive movements than the individuals with the T/T genotype typical for aborigines. Vyatka horses with the T/T genotype are more versatile, and also show better results in sledding, while the horses with the T/C genotype are better under saddle. The horses with the T/T genotype have the highest bony index but the lowest massiveness index. The MSTN T/T (0.581) homozygous genotype for the "wild" allele predominates in Vyatka horses. A relation-



ship between body types and the calpastatin gene (CAST) has been revealed for the first time in horse breeding. The horses with the G/A genotype turned out to be the most massive and bony, the horses with the A/A genotype were lighter, the highest frequency of occurrence of the CAST G/A genotype (0.463) was noted, the CAST G/G genotype is rare in the breed (0.171). A relationship between the frequency of occurrence of prolactin receptor genes (PRLR) and body types of horses was not found. The frequency of occurrence of PRLR C/C (0.366) and PRLR G/C (0.390) genotypes is approximately identical, the PRLR G/G genotype is less common (0.244). The study of genes associated with economically useful qualities in all breeding stallions will enable to conduct more efficient breeding, using the desired genotypes, which is important for small breeds.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Храброва, Л. А. Оценка генеалогической структуры вятской породы лошадей (*Equus ferus caballus*) с использованием анализа ДНК / Л. А. Храброва, Н. В. Блохина, Н. Ф. Белоусова [и др.] // Генетика. - 2022. - Т. 58. - № 4. - С. 457-462. - DOI: 10.31857/S0016675822040063.
2. Белоусова, Н. Ф. Оценка работоспособности лошадей вятской породы с использованием усовершенствованной системы испытаний / Н. Ф. Белоусова, С. П. Басс // Иппология и ветеринария. - 2019. - № 4 (34). - С. 27-32.
3. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. - 2015. - 784 p.
4. Храброва, Л. А. Использование ДНК технологий в коневодстве / Л. А. Храброва // Эффективное животноводство. - 2015. - № 6 (115). - С. 13-17.
5. Айдаров, В. А. Изучение полиморфных вариантов гена миостатина, ассоциированных с дистанционными способностями лошадей чистокровной верховой породы / В. А. Айдаров, Л. Л. Викулова, С. И. Сорокин // Коневодство и конный спорт. - 2017. - № 4. - С. 14-15.
6. Воронкова, В. Н. Оценка генетического разнообразия аборигенных пород Саяно-Алтайского региона с использованием ядерных и митохондриальных ДНК-маркеров / В. Н. Воронкова, Ю. А. Столповский // Аборигенное коневодство России: история, современность, перспективы. - Архангельск, 2018. - С. 60-69.
7. Зиновьева, С. А. Спектр гаплотипов миостатина (MSTN) у лошадей разных пород / С. А. Зиновьева, Л. А. Храброва, С. И. Сорокин [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. - 2020. - № 3. - С. 57-63.
8. Храброва, Л. А. Вариабельность генотипов миостатина (MSTN) у лошадей аборигенных пород / Л. А. Храброва, Н. В. Блохина, С. И. Сорокин // Коневодство и конный спорт. - 2020. - № 1. - С. 26-27.
9. Храброва, Л. А. Полиморфизм генов GYS1, DMTR3 и MSTN у лошадей местных пород / Л. А. Храброва, Н. В. Блохина, С. И. Сорокин // Аборигенные породы лошадей – национальное достояние России. - Архангельск: КИРА, 2022. - С. 258-268.
10. Калинкова, Л. В. Генетическая структура локальной популяции лошадей якутской породы по генам MC1R, ASIP, DMRT3 и MSTN / Л. В. Калинкова, А. М. Зайцев, Р. В. Иванов // Сельскохозяйственная биология. - 2022. - Т. 57. - № 2. - С. 272-282.
11. Храброва, Л. А. Структура вятской породы лошадей по гаплогруппам мтДНК / Л. А. Храброва, А. М. Зайцев, В. В. Калашников [и др.] // Коневодство и конный спорт. - 2020. - № 4. - С. 4-7.
12. Belousova, N. F. Features of coat color and markings and impact of dun factor on Vyatka horse breed / N. F. Belousova, S. P. Bass, S. A. Zinoveva [et al.] // International Scientific-Practical Conf. «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». - Kazan, 2019. - Vol. 17. - № 6. - P. 00202. - DOI 10.1051/bioconf/20201700202.
13. Hill, E. W. Sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses / E. W. Hill, J. Gu, S. S. Eivers [et al.] // PloS one. - 2010. - Vol. 5. - № 1. - P. e8645. - DOI

- 10.1371/journal.pone.0008645.
- 14.Binns, M. M. Identification of the myostatin locus (MSTN) as having a major effect on optimum racing distance in the Thoroughbred horse in the USA / M. M. Binns, D. A. Boehler, D. H. Lambert // *Animal genetics*. – 2010. – Vol. 41. – № 2. – С. 28-35. – DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02126.x.
- 15.Bower, M. A. The genetic origin and history of speed in the Thoroughbred racehorse / M. A. Bower, B. A. McGivney, M. G. Campana [et al.] // *Nature Communications*. – 2012. – Vol. 3. – P. 643. – DOI: 10.1038/ncomms1644.
- 16.Pereira, G. L. MSTN, CKM, and DMRT3 gene variants in different lines of quarter horses / G. L. Pereira, R. Matteis, L. C. A. Regitano [et al.] // *Journal of Equine Veterinary Science*. – 2016. – Vol. 39. – P. 33-37. – DOI: 10.1016/j.jevs.2015.09.001.
- 17.Вишневец, А. В. Полиморфизм гена MSTN (миостатин) и использование его в селекции лошадей верховых пород / А. В. Вишневец, П. П. Красочко, О. Л. Будревич // *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. – 2017. – Т. 53. – № 4. – С. 90-94.
- 18.Pira, E. Polymorphism at Myostatin gene (MSTN) and the associations with sport performances in Anglo-Arabian racehorses / E. Pira, G. M. Vassa, M. L. Dettori [et al.] // *Animals*. – 2021. – Vol. 11. – P. 964-976. – DOI: 10.3390/ani11040964.
- 19.Librado, P. The Evolutionary Origin and Genetic Makeup of Domestic Horses / P. Librado, A. Fages, C. Gaunitz [et al.] // *Genetics*. – 2016. – 204 (2). – P. 423-434. – DOI: 10.1534/genetics.116.194860.
- 20.Raynaud, P. C. Amarger four promoters direct expression of the calpastatin gene / P. C. Raynaud, M. P. Jayat-Vignoles, H. Laforet [et al.] // *Archives of biochemistry and biophysics*. – 2005. – Vol. 437. – № 1. – P. 69-77. – DOI: 10.1016/j.abb.2005.02.026.
- 21.Palmer, B.R. Marker-assisted selection for meat quality and the ovine calpastatin gene / B. R., Palmer, J. D. Morton, N. Bickstaffe R.[et al.]//*Conference: New Zealand Society of Animal Production*. – 1999 - 59. –P. 266-268.
- 22.Palmer, B. R. PCR-RFLP for MspI and NcoI in the ovine calpastatin gene / B. R. Palmer, N. Roberts, J. G. Hickford [et al.] // *Journal of Animal Sciences*. – 1998 – 76 (5). – P. 1499-1500. – DOI:10.2527/1998.7651499x.
- 23.Sumantri, C. Polimorfisme gen calpastatin (CAST-MspI) dan pengaruhnya terhadap bobot hidup domba lokal / C. E. Sumantri, R. Diyono, A. Farajallah [et al.] // *JITV*. 2008;13(2):117-126.
- 24.Machado, A. L. Single loci and haplotypes in CAPN1 and CAST genes are associated with growth, biometrics, and in vivo carcass traits in Santa Inês sheep. / A.L. Machado, A.N. Meira, E.N. Muniz [et al.] // *Annals of Animal Science*.2020;20(2):465–483. – DOI:10.2478/aoas-2020-0007.
- 25.Karpova E.D. Polymorphism of the GH, CAST genes, analysis of associations of their genotypes with the indicators of lipid metabolism, immune status, productivity of sheep in ontogenesis: Thesis by Ph.D. in Biology: 06.02.07. Stavropol, 2021. 121 p. (in Russ.)
- 26.Kostylev M. N., Ilyina A.V., Abramova M.V., Barysheva M. S, Malina Y.I., Evdokimov E.G., Yuldashbaev Y.A., Chylbak-ool S.O, Abdulmuslimov A.M. Genetic markers of meat productivity of the Romanov sheep breed: IGFBP-3, GHo и CAST. *Agrarian Science*.2020; 343 (11): 36–40. DOI.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-36-40 (in Russ.)
- 27.Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Selionova M.A., Chizhova L.N., Surzhikova E.S. Polymorphism of somatotropin (9GH), calpastatin (CAST), differential growth factor (GDF 9) genes among the sheep of the Tatarstan breed // *Sheep, goats, woolen business*. 2020;(1):2-3 (in Russ.)
- 28.Fominova, I. O. Features of the formation of meat productivity in meat-wool sheep depending on the polymorphism of somatotropin and calpastatin genes: dis. ... cand. Biol. sciences: 06.02.07 / I. O. Fominova. - Stavropol, 2022:138 p.
- 29.Afanasyeva, A. Phenotypic effects of polymorphism of the calpastatin gene (CAST), associated with growth and development indicators, in West Siberian mutton

- breed / A. Afanasyeva, V. Sarychev, G. Goncharenko // Digital agriculture-development strategy (ISPC 2019). – Atlantis Press, 2019; 116-120. – DOI:10.2991/ispc-19.2019.26.
30. Selionova, M. I. Meat productivity of sheep of the Altai Mountain breed of different genotypes according to the CAST and GDF9 genes / M. I. Selionova, L. N. Chizhova, E. S. Surzhikova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – V. 613. – № 1. – P. 012130. – DOI:10.1088/1755-1315/613/1/012130.
31. Bozhilova-Sakova, M. Genetic diversity of calpastatin gene and its association with some biochemical parameters in sheep / M. Bozhilova-Sakova, I. Dimitrova // Journal of BioScience and Biotechnology. – 2021. – V. 10. – № 2. – P. 99-102.
32. Лысенко, Н. Г. Ассоциация генов кальпаин-кальпастатиновой системы и параметров экстерьера животных абердин-ангусской породы / Н. Г. Лысенко, А. И. Колесник, И. В. Горайчук [и др.] // Фактори експериментальної еволюції організмів. – 2016. – Т. 18. – С. 111–116.
33. Бублик, Е. М. Влияние генов MC4R, POU1F1, PRLR, ESR на продуктивные качества свиней / Е. М. Бублик // Молодой ученый. – 2013. – № 6 (53). – С. 238-240.
34. Леонова, М. А. Перспективные генетические маркеры продуктивности сельскохозяйственных животных / М. А. Леонова, А. Ю. Колосов, А. В. Радюк [и др.] // Молодой ученый. – 2013. – № 6 (53). – С. 238-240.
35. Леонова, М. А. Роль гена пролактина и его рецептора в формировании признаков продуктивности сельскохозяйственных животных / М. А. Леонова, Л. В. Гетманцева, А. В. Усатов // Генетика и разведение животных. – 2014. – № 4. – С. 37-39.
36. Селионова, М. И. Оценка полиморфизма гена пролактина у коров молочных пород / М. И. Селионова, Л. В. Кононова, О. В. Сычева // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101. – № 1. – С. 27-33.
37. Кулибаба, Р. А. Полиморфизм генов гормона роста, рецептора гормона роста, пролактина и рецептора пролактина в связи с яичной продуктивностью у кур породы полтавская глиняная / Р. А. Кулибаба // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 2. – С. 198-207.
38. Do, C. H. Study on the Prolactin Receptor 3 (PRLR3) Gene and the Retinol-binding Protein 4 (RBP4) Gene as Candidate Genes for Production Traits in Berkshire Pigs / C. H. Do, B. W. Cho, D. H. Lee // Journal of Animal and Feed Sciences. – 2012. – № 25 (2). – P. 183–188. – DOI: 10.5713/ajas.2011.11216.
39. Getmantseva, L. V. Polymorphisms in several porcine genes are associated with growth traits / L. V. Getmantseva, A. Yu. Kolosov, M. A. Leonova [et al.] // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. – 2016. – № 11 (4). – P. 136–141. – DOI:10.3844/ajavsp.2016.136.141.
40. Клименко, А. И. Породная дифференциация желательных генотипов гена PRLR у свиней / А. И. Клименко, А. Ю. Колосов, М. А. Леонова [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2017. – Т. 47. – № 4. – С. 32-37.
41. Леонова, М. А. Воспроизводительные качества свиней породы ландрас разных генотипов по генам PRLR и MC4R / М. А. Леонова, А. Е. Святогорова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 103. – № 9. – С. 1-10. [Электронный ресурс]: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/65.pdf> (дата обращения: 10/12/2022).
42. Abula, R. Novel polymorphisms detected in the prolactin receptor gene of Yili horse (*Equus caballus*) by PCR-SSCP / R. Abula, H.-L. Zhang, Y. Chen [et al.] // Journal of Animal and Feed Sciences. – 2013. – V. 22. – № 1. – P. 70-76. – DOI:10.22358/jafs/66021/2013.
43. Giesecke, K. Evaluation of prolactin receptor (PRLR) as candidate gene for male fertility in Hanoverian warmblood horses / K. Giesecke, H. Hamann, H. Sieme [et al.] // Reproduction in Domestic Animals. – 2009 - Oct; 45 (5). – e124-30. – DOI:10.1111/j.1439-0531.2009.01533.x.

## REFERENCES

1. Khrabrova L.A., Blokhina N.V., Belousova N.F., Kotran E.G. Evaluation of the genealogical structure of the Vyatka horse breed (*Equus ferus caballus*) using DNA analysis [Генетика]. 2022;88(4):457-66 (in Russ.)
- 2.2. Belousova, N. F. The performance assessment of Vyatka breed horses using an improved testing system / N.F. Belousova, S.P. Bass [Иппология и ветеринария] 2019;4 (34):27-32 (in Russ.)
3. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2015;784 p.
4. Khrabrova L.A. Use of DNA technologies in horse breeding [Эффективное животноводство]. 2015;6(115):13-7 (in Russ.)
5. Aidarov V.A., Vikulova L.L., Sorokin S.I. Study of polymorphic variants of the myostatin gene associated with the distance abilities of Thoroughbred riding horses [Коневодство и конный спорт]. 2017;4:14-5 (in Russ.)
6. Voronkova V.N., Stolpovsky Yu.A. Assessment of the genetic diversity of native breeds of the Sayano-Altai region using nuclear and mitochondrial DNA markers [Аборигенное коневодство России: история, современность, перспективы]. RAS–Arkhangelsk Research Institute of Agriculture; 2018: 60-69 (in Russ.)
7. Zinovieva S.A., Khrabrova L.A., Sorokin S.I., Blokhina N.V., Zelenchenkova A.A. Myostatin haplotype spectrum (MSTN) among the horses of different breeds [Ветеринария, зоотехния и биотехнология]. 2020;3:57-63 (in Russ.)
8. Khrabrova L.A., Blokhina N.V., Sorokin S.I. Variability of myostatin genotypes (MSTN) among the horses of aboriginal breeds [Коневодство и конный спорт]. 2020;1:26-27 (in Russ.)
9. Khrabrova L.A., Blokhina N.V., Sorokin S.I. Polymorphism of GYS1, DMTR3 and MSTN genes among the horses of local breeds [Аборигенные породы лошадей – национальное достояние России]. Arkhangelsk: KIRA; 2022:258-68 (in Russ.)
10. Kalinkova, L.V., Zaitsev, A.M., Ivanov, R.V. Genetic structure of the local Yakut horses population for genes MC1R, ASIP, DMRT3 and MSTN // Agricultural Biology. 2022;57(2):272-282 (in Russ.) DOI: 10.15389/agrobiology.2022.2.272eng
11. Khrabrova, L.A., Zaitsev, A.M., Kalashnikov V.V., Blokhina N.V., Belousova N.F., Sorokin S.I. The structure of the Vyatka horse breed according to mtDNA haplogroups [Коневодство и конный спорт]. 2020;4:4-7 (in Russ.)
12. Belousova, N. F. Features of coat color and markings and impact of dun factor on Vyatka horse breed / N. F. Belousova, S. P. Bass, S. A. Zinoveva [et al.] // International Scientific-Practical Conf. «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». – Kazan, 2019;17(6):00202. – DOI:10.1051/bioconf/20201700202.
13. Hill, E. W. Sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses / E. W. Hill, J. Gu, S. S. Eivers [et al.] // PloS one. 2010;5 (1):e8645. – DOI 10.1371/journal.pone.0008645.
14. Binns, M. M. Identification of the myostatin locus (MSTN) as having a major effect on optimum racing distance in the Thoroughbred horse in the USA / M. M. Binns, D. A. Boehler, D. H. Lambert // Animal genetics. 2010;41(2):28-35. – DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02126.x.
15. Bower, M. A. The genetic origin and history of speed in the Thoroughbred racehorse / M. A. Bower, B. A. McGivney, M. G. Campana [et al.] // Nature Communications. 2012;(3):643. – DOI: 10.1038/ncomms1644.
16. Pereira, G. L. MSTN, CKM, and DMRT3 gene variants in different lines of quarter horses / G. L. Pereira, R. Matteis, L. C. A. Regitano [et al.] // Journal of Equine Veterinary Science. 2016; (39):33-37. – DOI: 10.1016/j.jevs.2015.09.001.
17. Vishnevets A.V., Krasochko P.P., Budrevich O.L. Polymorphism of the MSTN (myostatin) gene and its use in breeding of riding horses // Scientific notes of the educational institution "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine" of the Badge of Honor

- Order: scientific and practical journal. Vitebsk. 2017;53(4):90-94.
- 18.Pira, E. Polymorphism at Myostatin gene (MSTN) and the associations with sport performances in Anglo-Arabian racehorses / E. Pira, G. M. Vassa, M. L. Dettori [et al.] // *Animals*. – 2021. – Vol. 11. – P. 964-976. – DOI: 10.3390/ani11040964.
- 19.Librado, P. The Evolutionary Origin and Genetic Makeup of Domestic Horses / P. Librado, A. Fages, C. Gaunitz [et al.] // *Genetics*. – 2016. – 204 (2). – P. 423-434. – DOI: 10.1534/genetics.116.194860.
- 20.Raynaud, P. C. Amarger four promoters direct expression of the calpastatin gene / P. C. Raynaud, M. P. Jayat-Vignoles, H. Laforet [et al.] // *Archives of biochemistry and biophysics*. – 2005. – Vol. 437. – № 1. – P. 69-77. – DOI: 10.1016/j.abb.2005.02.026.
- 21.Palmer, B.R. Marker-assisted selection for meat quality and the ovine calpastatin gene / B. R., Palmer, J. D. Morton, N. Bickerstaffe R. [et al.] // *Conference: New Zealand Society of Animal Production*. – 1999 - 59. – P. 266-268.
- 22.Palmer, B. R. PCR-RFLP for MspI and NcoI in the ovine calpastatin gene / B. R. Palmer, N. Roberts, J. G. Hickford [et al.] // *Journal of Animal Sciences*. – 1998 – 76 (5). – P. 1499-1500. – DOI:10.2527/1998.7651499x.
- 23.Sumantri, C. Polimorfisme gen calpastatin (CAST-MspI) dan pengaruhnya terhadap bobot hidup domba lokal / C. E. Sumantri, R. Diyono, A. Farajallah [et al.] // *JITV*. – 2008. – V. 13. – № 2. – P. 117-126.
- 24.Machado, A. L. Single loci and haplotypes in CAPN1 and CAST genes are associated with growth, biometrics, and in vivo carcass traits in Santa Inês sheep. / A.L. Machado, A.N. Meira, E.N. Muniz [et al.] // *Annals of Animal Science*. – 2020. – V. 20. – № 2. – P. 465–483. – DOI:10.2478/aoas-2020-0007.
- 25.Karpova E.D. Polymorphism of the GH, CAST genes, analysis of associations of their genotypes with the indicators of lipid metabolism, immune status, productivity of sheep in ontogenesis: Thesis by Ph.D. in Biology: 06.02.07. Stavropol, 2021. 121 p.
- 26.Kostylev M. N., Ilyina A.V., Abramova M.V, Barysheva M. S, Malina Y.I., Evdokimov E.G., Yuldashbaev Y.A., Chylbak-ool S.O, Abdulmuslimov A.M. Genetic markers of meat productivity of the Romanov sheep breed: IGFBP-3, GHo и CAST. *Agrarian Science*.2020; 343 (11): 36–40. – DOI.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-36-40 (In Russ.)
- 27.Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Selionova M.A., Chizhova L.N., Surzhikova E.S. Polymorphism of somatotropin (9GH), calpastatin (CAST), differential growth factor (GDF 9) genes among the sheep of the Tatarstan breed // *Sheep, goats, woolen business*. 2020. No. 1. pp. 2-3.
- 28.Fominova, I. O. Features of the formation of meat productivity in meat-wool sheep depending on the polymorphism of somatotropin and calpastatin genes: dis. ... cand. Biol. sciences: 06.02.07 / I. O. Fominova. – Stavropol, 2022. – 138 p.
- 29.Afanasyeva, A. Phenotypic effects of polymorphism of the calpastatin gene (CAST), associated with growth and development indicators, in West Siberian mutton breed / A. Afanasyeva, V. Sarychev, G. Goncharenko // *Digital agriculture-development strategy (ISPC 2019)*. – Atlantis Press, 2019. – P. 116-120. – DOI:10.2991/ispc-19.2019.26.
- 30.Selionova, M. I. Meat productivity of sheep of the Altai Mountain breed of different genotypes according to the CAST and GDF9 genes / M. I. Selionova, L. N. Chizhova, E. S. Surzhikova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2020. – V. 613. – №. 1. – P. 012130. – DOI:10.1088/1755-1315/613/1/012130.
- 31.Bozhilova-Sakova, M. Genetic diversity of calpastatin gene and its association with some biochemical parameters in sheep / M. Bozhilova-Sakova, I. Dimitrova // *Journal of BioScience and Biotechnology*. – 2021. – V. 10. – №. 2. – P. 99-102.
- 32.Lysenko, N. G. Association of genes of the calpain-calpastatin system and parameters of animals exterior of the Aberdeen-Angus breed / N. G. Lysenko, A. I. Kolesnik, I. V. Goraichuk [et al.] [Фактори експериментальної еволюції організмів]. 2016;18:111-116 (in Russ.)



33. Bublik, E. M. The influence of MC4R, POU1F1, PRLR, ESR genes on the productive qualities of pigs / E. M. Bublik [Молодой учёный]. 2013;6 (53):238-240 (in Russ.)
34. Leonova, M. A. Promising genes-markers of farm animals productivity / M. A. Leonova, A. Y. Kolosov, A. V. Radyuk [et al.] [Молодой учёный]. 2013;6 (53):238-240 (in Russ.)
35. Leonova M.A., Getmantseva L.V., Usatov A.V. The role of the prolactin gene and its receptor in the formation of productivity traits among farm animals [Генетика и разведение животных]. 2014; 4:37-9 (in Russ.)
36. Selionova, M. I. Evaluation of prolactin gene polymorphism in dairy cows / M. I. Selionova, L. V. Kononova, O. V. Sycheva [Животноводство и кормопроизводство]. 2018;101(1):27-33 (in Russ.)
37. Kulibaba, R. A. Polymorphism of growth hormone, growth hormone receptor, prolactin and prolactin receptor genes in connection with egg productivity in Poltava clay chickens / R. A. Kulibaba [Сельскохозяйственная биология]. 2015;50(2):198-207 (in Russ.)
38. Do, C. H. Study on the Prolactin Receptor 3 (PRLR3) Gene and the Retinol-binding Protein 4 (RBP4) Gene as Candidate Genes for Production Traits in Berkshire Pigs / C. H. Do, B. W. Cho, D. H. Lee // Journal of Animal and Feed Sciences. 2012;25(2):183-188. - DOI: 10.5713/ajas.2011.11216.
39. Getmantseva, L. V. Polymorphisms in several porcine genes are associated with growth traits / L. V. Getmantseva, A. Yu. Kolosov, M. A. Leonova [et al.] // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. 2016;11 (4):136-141. - DOI:10.3844/ajavsp.2016.136.141.
40. Klimenko, A. I. Pedigree differentiation of desirable genotypes of the PRLR gene in pigs / A. I. Klimenko, A. Y. Kolosov, M. A. Leonova [et al.] // [Сибирский вестник сельскохозяйственной науки]. 2017;47 (4):32-37 (in Russ.)
41. Leonova MA, Svyatogorova AE. Reproductive qualities of landrace pigs of different genotypes by PRLR and MC4R genes [Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ]. 2014;103(09):1-10 (in Russ.)
42. Abula, R. Novel polymorphisms detected in the prolactin receptor gene of Yili horse (*Equus caballus*) by PCR-SSCP / R. Abula, H.-L. Zhang, Y. Chen [et al.] // Journal of Animal and Feed Sciences. 2013;22(1):70-76. - DOI:10.22358/jafs/66021/2013.
43. Giesecke, K. Evaluation of prolactin receptor (PRLR) as candidate gene for male fertility in Hanoverian warmblood horses / K. Giesecke, H. Hamann, H. Sieme [et al.] // Reproduction in Domestic Animals. 2009; - Oct; 45 (5):e124-30. - DOI:10.1111/j.1439-0531.2009.01533.x.