

**ХРОМОСОМНЫЕ МУТАЦИИ У ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ
ГОЛШТИНСКИХ КОРОВ**

Д.В. Самсонов, аспирант

С.Г. Куликова, доктор биологических наук

В.А. Андреева, аспирант

Д.А. Александрова, магистрант

Новосибирский государственный аграрный универси-
тет, Новосибирск, Россия

E-mail: samdim2011@mail.ru

Ключевые слова: голштинская порода скота, гипоплоидия, гиперплоидия, полиплоидия, анеуплоидия, хромосомные мутации

Реферат. *Изложены результаты исследований соматической хромосомной нестабильности: анеуплоидии и полиплоидии – в клетках крови высокопродуктивных голштинских коров с продуктивностью свыше 9000 кг. Исследования проведены в ОАО «Ваганово» Промышленновского района Кемеровской области на популяции голштинских коров. Подготовка проб проводилась по методу Р. Moorhead и соавторов, а их окрашивание — по Романовскому-Гимзе. В группе из 30 здоровых животных было изучено 6068 метафазных пластинок. Подсчет анеуплоидии производился согласно методике Н.П. Бочкова и соавторов. В районе содержания и разведения скота была проанализирована экологическая обстановка. Исследования почвы, кормов, органов и тканей у сельскохозяйственных животных разных видов подтверждают тот факт, что на территории Западной Сибири отсутствуют загрязнения тяжелыми металлами и химическими загрязнителями и их уровень находится в пределах санитарных норм. Поэтому экологическую обстановку в районе исследования следует считать благополучной. Показано, что в изученной выборке частота полиплоидии составила 0,59%, уровень тетраплоидии, триплоидии и гексаплоидии – 0,33; 0,18 и 0,06 соответственно, частота истинной гипоплоидии – 0,73, количество диплоидных клеток – 84,7%. Полученные данные можно предварительно применять в качестве нормальных значений, а также использовать при оценке интерьера животных.*

CHROMOSOMAL MUTATIONS IN HIGH-YIELD HOLSTEIN COWS

D.V. Samsonov, PhD Student

S.G. Kulikova, Doctor of Biological Sciences

V.A. Andreeva, PhD Student

D.A. Aleksandrova, Master's student

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

Keywords: Holstein cattle, hypoploidy, hyperdiploid, polyploidy, aneuploidy, chromosomal mutations

Abstract. *The results of the research of somatic chromosomal instability: aneuploidy and polyploidy in the blood cells of high-yield Holstein cows with the productivity of more than 9000 kg have been presented in the article. The research was conducted in JSC Vaganovo, Promyshlennovskiy District, Kemerovo Region on the population of Holstein cows. Sample preparation was carried out according to P. Moorhead et al. Samples were stained using the Romanowsky-Giemsa method. The authors studied 6068 metaphase plates in a group of 30 healthy animals. Aneuploidy was counted according to the practice of N.P. Bochkov et al. The authors also analysed the ecological situation in the area of keeping and breeding cattle. Studies of soil, fodder, organs and tissues in farm animals of different*

species confirm that heavy metal and chemical pollutants are not contaminated in Western Siberia, and their levels are within sanitary norms. Therefore, the ecological situation in the study area should be considered safe. The study shows that the frequency of polyploidy was 0.59% in the studied sample. Tetraploidy, triploidy, and hexaploidy rates were 0.33; 0.18 and 0.06, respectively, the frequency of true hypoploidy was 0.73, and the number of diploid cells was 84.7%. The data obtained can be tentatively applied as average values and can also be used to evaluate the interior of the animals.

Соматическая хромосомная нестабильность – результат случайного мутагенеза или нарушения деления в соматических клетках в процессе жизни организма. Данное цитогенетическое явление довольно распространено и в небольших размерах присутствует практически в любом организме, не представляя угрозы. По данным литературы, её можно объяснить и как часть процесса усиления клеточного метаболизма у животных с высокой продуктивностью, а следовательно, более высокими показателями крови, обмена веществ [1]. Довольно редко высокое содержание полиплоидных клеток встречается у потомства здоровых животных, что может быть обусловлено высокой индивидуальной изменчивостью, но чаще это следствие какого-либо негативного воздействия в процессе развития организма или действие генетического груза, переданного родителями [2].

Для каждого вида сельскохозяйственных животных существуют нормальные значения, в пределах которых соматическая хромосомная нестабильность не влияет на показатели здоровья животного [1, 3].

Высокое количество полиплоидных клеток в организме может быть следствием патологического состояния, вызванного разными причинами – например, экологической обстановкой. Изменения в кариотипе достаточно часто могут вызывать химические загрязнители, повышенный радиационный и электромагнитный фон, накопление тяжелых металлов в организме [4–7].

Помимо химических загрязнителей, существует большое количество мутагенных факторов биологического происхождения – это бактерии и вирусы, внедряющие в результате своей жизнедеятельности чужеродные ДНК в клетки. Мутагенными свойствами обладают также паразиты, формирующие в ор-

ганизме удобное для себя жизненное пространство. Даже ветеринарные процедуры, такие как вакцинирование и лечение антибиотиками, могут повлиять на генетический аппарат [8–11].

Поэтому в настоящее время в сельском хозяйстве внедряются методы цитогенетического контроля, позволяющие выявлять и выбраковывать больных животных. Поддержание цитогенетической чистоты стада – одна из задач современного селекционера [3, 5, 7, 9, 12–15]. Однако в литературе встречается мало данных о связи соматической хромосомной нестабильности с продуктивностью животных [1, 2, 8].

В настоящее время на территории Западной Сибири проводятся цитогенетические исследования свиней пород СМ-1, кемеровской, ландрас; овец романовской породы; яков; чёрно-пёстрой, а также симментальской, якутской, серой украинской, красной степной пород скота [1, 4–9, 13, 14, 16–23].

Цель наших исследований – установить частоту показателей соматической хромосомной нестабильности у высокопродуктивных коров голштинской породы в нормальной экологической обстановке.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на популяции здоровых высокопродуктивных коров голштинской породы первой лактации с продуктивностью свыше 9000 кг, разводимой в ОАО «Ваганово» Кемеровской области. Забор крови для лабораторных цитогенетических исследований проводили из яремной вены в стерильные пробирки с раствором гепарина. В группе из 30 животных было исследовано 6068 метафазных пластинок по методу Р. Moorhead et al. [24]. Подсчёт метафазных пла-

стинок производился при иммерсионном увеличении микроскопа. Частота полиплоидии (триплоидов, тетраплоидов, гексаплоидов) определялась по 200 клеткам. Частоту истинной анеуплоидии на 100 клеток рассчитывали по количеству гиперплоидов, помноженному на два. Анализ анеуплоидии был выполнен по методике Н.П. Бочкова и соавторов [25]. Установлено количество диплоидных клеток с целью определения цитогенетической стабильности животных.

Исследования экологической обстановки в районе содержания и разведения животных показали отсутствие загрязнений тяжелыми металлами и иными химическими и биологическими загрязнителями, т.е. животные содержались в районе с благоприятной экологической обстановкой [9,10].

Результаты исследований обрабатывали статистически с использованием стандартных программ MS Excel и Statistica 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения качественных и количественных признаков у сельскохозяйственных животных важным моментом является изучение условий среды их содержания и разведения. ЗАО «Ваганово», на территории которого находились животные, принадлежит к экологически чистой зоне. По данным литературы, химические и биологические загрязнители,

а также тяжелые металлы находятся в пределах нормальных значений [9, 10, 27].

В процессе исследования показателей полиплоидии было установлено, что общее содержание полиплоидных клеток составляет менее процента – 0,59%. Были обнаружены триплоиды, тетраплоиды, гекса- и октоплоиды. Число тетраплоидов в 1,8 раза превосходило количество триплоидных клеток и в 5 раз – гексаплоидных. Было выявлено 14,1% гипоплоидных (анеуплоидных) клеток и 0,36% гиперплоидных клеток. Число истинной анеуплоидии составило менее 1%.

Большое количество анеуплоидных клеток и значительное их превосходство над гиперплоидными можно объяснить методикой приготовления препаратов из хромосом. Нерасхождение хромосом в циклах митоза и мейоза является основной причиной возникновения анеуплоидии. Поэтому количество гиперплоидных клеток должно соответствовать числу гипоплоидных, т.к. если одна дочерняя клетка получила дополнительную хромосому, то другая дочерняя клетка должна её утратить. Следовательно, критерием истинной анеуплоидии следует считать число гиперплоидных клеток, умноженное на два [25].

Общее количество диплоидных клеток – показателя цитогенетической стабильности – составило 84,7% (таблица).

Таблица

Частота форм полиплоидии и анеуплоидии у высокопродуктивных голштинских коров
Frequency of polyploidy and aneuploidy forms in high producing Holstein cows

Показатель	Число метафаз, n	Частота, %	lim
Триплоидные клетки	6000	0,181±0,054	0–3
Тетраплоидные клетки	6000	0,329±0,073	0–3
Гексаплоидные клетки	6000	0,065±0,032	0–1
Октоплоидные клетки	6000	0,016±0,016	0–1
Общая полиплоидность	6000	0,590±0,098	0–3
Анеуплоидия (расчётная)	3000	14,100±0,780	12–16
Анеуплоидия (истинная)	3000	0,733±0,128	0–1
Гиперплоидия	3000	0,366±0,190	0–1
Гипоплоидия	3000	13,733±0,10	12–16
Диплоидные клетки	6000	84,700±0,500	80–86

Полученные данные показывают, что количество полиплоидных и анеуплоидных клеток составляет менее 1% и соответствует средним значениям по данным литературы. Частота диплоидности – 84,7%. Животные с высокой продуктивностью имеют нормальные кариотипические показатели, что, несмотря на их высокое физиологическое напряжение, говорит о хорошем здоровье в стаде и нормальных экологических условиях [7,10].

Проводя исследования кариотипа сельскохозяйственных животных, надо учитывать условия их содержания и разведения, воздействие факторов среды, а также индивидуальную изменчивость.

Для крупного рогатого скота характерна высокая изменчивость по частоте хромосомных aberrаций. А.И. Жигачев приводит данные о 2,5–3% для здоровых высокопродуктивных животных и 6,5% и более для коров с пониженной репродуктивной функцией. При этом, как отмечено автором, количество aberrаций у взрослых быков в среднем выше, чем у коров, и составляет 5–6% [26]. А.С. Качура и В.С. Мелешко определяют допустимый диапазон в 0,1–11% [27].

На территории Западной Сибири для чёрно-пестрого скота Е.В. Камалдинов и др. [16] установили частоту хромосомных aberrаций, равную 4,8%. При этом количество диплоидных клеток – важного показателя кариотипической стабильности – составило 84,6%. С.Г. Куликова приводит аналогичные данные по частоте хромосомных aberrаций – 3,94%, оценивая спонтанные хромосомные aberrации черно-пестрого скота в условиях Западной Сибири [6]. Такие результаты достаточно схожи с полученными в данном исследовании.

По данным литературы установлено, что на частоту соматической хромосомной нестабильности влияет не только окружающая среда, но и генофонд животных [5, 6, 13–16]. Для каждой породы крупного рогатого скота характерен свой тип наиболее часто встречающихся аномалий кариотипа: для скота чёрно-пестрой породы – повышенная частота гиперплоидии, красной степной – полиплоидии,

симментальской – разрывов. Межвидовая разница по частоте хромосомной нестабильности достаточна велика. Так, значения соматической хромосомной нестабильности для свиней в 2,5 раза ($P < 0,001$) превышают нормы для крупного рогатого скота [6].

Процесс интродукции или внедрения импортированных животных в стадо тоже способствует росту соматической хромосомной нестабильности. У привозных животных, как отмечают ряд авторов, гораздо больше клеток с хромосомными нарушениями, чем у местных, несмотря на стабильную экологическую обстановку. Данное явление объясняется стрессовым состоянием импортированных животных, включением механизма физиологической адаптации на новом месте [4,13].

По данным Е.В. Камалдинова и др. [16], интродуцированный серый украинский скот в экологически благополучной обстановке имеет высокую частоту соматической хромосомной нестабильности в сравнении с чёрно-пестрой породой в Западной Сибири. Так, завезенные животные имели четырехкратную разницу с местными по количеству хромосомных aberrаций. Частота полиплоидии и анеуплоидии в 1,7 раза превосходила значения для черно-пестрого скота, а количество диплоидных клеток – показателя цитогенетической стабильности – было меньше на 8%. Интродуцированный якутский скот, как и серая украинская порода, дает схожие данные по межвидовой хромосомной нестабильности [3, 16, 28]. По данным М.Л. Кочневой [4], схожая картина роста соматической хромосомной нестабильности наблюдается у привозных животных голштинской и голштинизированной чёрно-пестрой породы. Все это можно объяснить включением механизмов физиологической адаптации интродуцированных животных к новым условиям.

В современной селекционной работе кариотип животных анализируется на наличие генетического груза. Обычно большие значения частоты соматической хромосомной нестабильности являются следствием какого-либо заболевания и паталогического состояния. Больных животных, имеющих повышен-

ные показатели соматической хромосомной нестабильности, выбраковывают [1, 2, 8, 12, 14, 23, 26, 29-32].

В настоящее время у крупного рогатого скота обнаружено 200 видов хромосомных аномалий. По данным российских и зарубежных авторов, наиболее распространена у крупного рогатого скота реципрокная транслокация $gov\ 1/29$, которая сильно влияет на снижение плодовитости и фертильности. А. Iannuzzi et al. [11] приводят данные о распространении данной транслокации у итальянской фризской породы. У 16,2% исследуемых животных обеих полов с репродуктивными проблемами была обнаружена данная аномалия, а также мозаицизм XX/XU [11]. Такое же влияние на снижение репродуктивности оказывают и другие виды реципрокных транслокаций, например, $гср\ 13/26$, обнаруженная М.Л. Кочневой и соавторами у черно-пестрой породы скота в хозяйствах Новосибирской области. Данные виды перестроек существуют в соматических и половых клетках и способны передаваться по наследству [22].

Так же как у скота, у овец хромосомные аномалии являются причиной снижения плодовитости. Около четверти спонтанных абортов были обусловлены хромосомными перестройками в половых клетках родителей. При этом встречаемость носителя перестроек не превышала 1% от всего потомства. По данным литературы, у овец нормальный уровень полиплоидии варьирует от 0,53 до 1,36%, что ниже, чем у свиней, и больше, чем у крупного рогатого скота. У овец зарегистрирована 4-, 6-, 8-, 16-плоидность и даже выше. Основную массу полиплоидов составляют тетраплоиды

(60%) и октоплоиды (20%). Другие варианты полиплоидии встречаются не чаще 15% [12].

По данным В.А. Андреевой и др., исследовавших овец романовской породы в ЗАО «Ваганово», частота полиплоидных клеток овец соответствует данным литературы – 1,3%. Частота триплоидных клеток в 1,4 раза превышала таковую тетраплоидов, а частота октоплоидов была менее 0,01%. Авторы приводят также данные о влиянии генотипа баранов-производителей на количество фрагментов в клетках потомков [17].

Таким образом, предварительно установлена средняя частота некоторых показателей соматической хромосомной нестабильности. Эти данные могут быть использованы для детальной цитогенетической оценки интерьера высокопродуктивных голштинских коров как нормальные значения, а также в экологических исследованиях.

ВЫВОДЫ

1. Установлена средняя популяционная частота соматической хромосомной нестабильности у высокопродуктивных коров голштинской породы. Количество диплоидных клеток равно 84,7%.

2. Общий уровень полиплоидии составил 0,59%, частота анеуплоидии – 0,733, тетраплоидии, триплоидии и гексаплоидии – 0,33; 0,18 и 0,06 соответственно, а октоплоидии – 0,016%. Полученные данные предварительно можно использовать для более детальной цитогенетической оценки интерьера животных как норму для здорового крупного рогатого скота голштинской породы, а также в экологических исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов А.С. Цитогенетический скрининг в различных популяциях голштинизированного скота: дис. ... д-ра биол. наук. – Пермь, 2009. – 221 с.
2. Проблемы селекции сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: – Наука. Сиб. предпр. РАН, 1997. – 283 с.
3. Камалдинов Е.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л. Фонд эритроцитарных антигенов и хромосомная нестабильность у якутского скота // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – Т. 46, №2. – С. 51-56.

4. *Кочнева М.Л.* Цитогенетический эффект реакции импортированного скота на изменение условий среды // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы VIII Моск. междунар. конгр. – М., 2015. – С. 220–222.
5. *Коновалова Т.В.* Связь частоты полиплоидии с уровнем некоторых тяжелых металлов в органах скота черно-пестрой породы // Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных: материалы междунар. науч.- практ. конф. – Новосибирск, 2018. – С. 28–30.
6. *Куликова С.Г.* Цитогенетический мониторинг крупного рогатого скота в разных экологических зонах Западной Сибири и Северного Казахстана: дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 1998. – 294 с.
7. *Самсонов Д.В.* Частота полиплоидии у голштинского скота // Теория и практика современной аграрной науки: сб. II Нац. (всерос.) конф. – Новосибирск, 2019. – С. 346–348.
8. *Способ* получения высокопродуктивных производителей сельскохозяйственных животных: патент №2414124 / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков [и др.]. – Заявка №2009122691\10 от 15.06.2009.
9. *Cadmium accumulation in soil, fodder, grain, organs and muscle tissue of cattle in West Siberia / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, V.L. Petukhov [et al.] // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. – 2016. – Т. 7, N 4. – С. 1758–1764.*
10. *Characterizing physiological status in three breeds of bulls reared under ecological and climate conditions of the Altai region / L.V. Osadchuk, M.A. Kleshev, O.I. Sebezhko [et al.] // Iraqi Journal of Veterinary Sciences. – 2017. – Vol. 31, N 1. – С. 35–42.*
11. *Chromosome Abnormalities and Fertility in Domestic Bovids: A Review / A. Iannuzzi, P. Parma, L. Iannuzzi // Animals. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 802. – <https://doi.org/10.3390/ani11030802>.*
12. *Биология, генетика и селекция овцы / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск, 2010. – 524 с.*
13. *Куликова С.Г., Петухов В.Л., Графодатский А.С.* Новый случай трисомии у крупного рогатого скота // Цитология и генетика. – 1991. – Т. 25, № 2. – С. 29–32.
14. *Куликова С.Г., Эрнст Л.К., Петухов В.Л.* Соматические хромосомные aberrации у крупного рогатого скота с врожденной патологией // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1996. – № 6. – С. 33–34.
15. *Проблемы сельскохозяйственной экологии / А.Г. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко [и др.]. – Новосибирск, 2000. – 255 с.*
16. *Антигенный статус и хромосомная нестабильность серого украинского скота / Е.В. Камалдинов, А.В. Кушнир, В.Л. Петухов, О.С. Короткевич // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 12 (216). – С. 67–73.*
17. *Влияние генотипа баранов-производителей на количество фрагментов хромосом в клетках потомства / В.А. Андреева, В. Ли, М. Лью [и др.] // Вестник НГАУ. – 2019. – № 4(53). – С. 23–31.*
18. *Качура В.С.* Хромосомные нарушения у крупного рогатого скота (*Bos taurus* L.). // Цитология и генетика. — 1982. — Т. 16, № 4. – С. 60–71.
19. *Кочнева М.Л.* Мониторинг популяций сельскохозяйственных животных в разных экологических условиях: дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 2005. – 292 с.
20. *Самсонов Д.В.* Соматическая три- и тетраплоидность у высокопродуктивного голштинского скота в условиях Западной Сибири // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Горно-Алт. гос. ун-та. – Новосибирск, 2019. – С. 192–194.
21. *Самсонов Д.В.* Соматическая хромосомная нестабильность у голштинских коров в условиях Кузбасса // Вестник НГАУ. – 2020. – № 3(56). – С. 346–348.

22. *Новый* случай реципрокной транслокации гср (13; 26) у крупного рогатого скота / М.Л. Кочнева, А.Н. Жиденова, Л.С. Билтулева, Т.Ю. Кисилева // *Сельскохозяйственная биология*. – 2011. – № 6. – С. 84–88.
23. *Куликова С.Г.* Спонтанные хромосомные аберрации в различных экологических условиях Западной Сибири // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 3. – С. 584.
24. *Chromosome* preparations of leucocytes cultured from human peripheral blood / P.S. Moorhead, P.C. Nowell, W.J. Mellman [et al.] // *Exptl Cell Res.* – 1960. – Vol. 20, N 3. – P. 613–616.
25. *Анализ* анеуплоидии в культурах эмбриональных фибробластов и лейкоцитов человека / Н.П. Бочков, В.М. Козлов, А.В. Севанькаев, М.М. Антошина // *Генетика*. – 1966. – № 10. – С. 120–124.
26. *Жигачёв А.И.* Генетический груз и мониторинг вредных мутаций в популяциях крупного рогатого скота: дис. ... д-ра биол. наук. – Л.–Пушкин: ВНИИРГЖ, 1987. –234 с.
27. *Cooper* content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia / T.V. Konovalova, K.N. Narozhnykh, V.L. Petukhov [et al.] // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2017. – Т. 44, N 5. – С. 74.
28. *Cytogenetic* studies of calf's of the black and white breed with congenital abnormalities / S.G. Kulikova // 8th North American collegium on Domestic Animal Cytogenetics and Gene Mapping. – 1993. – P. 139–141.
29. *Direct* determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes / T.V. Skiba, A.K. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, N 6. – С. 958–964.
30. *Ecological* and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, N 4. – С. 368–374.
31. *Influence* of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation on hevvy metals in organs and tissues, and resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva / L.V. Sebezshko, V.L. Petukhov, N.I. Shishin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, N 9. – С. 1530-1535.

REFERENCES

1. Semenov A.S., *Tsitogeneticheskii skrining v razlichnykh populyatsiyakh golshtinizirovannogo skota* (Cytogenetic screening in different populations of Holstein cattle), Doctors thesis, Perm, 2009, 221 p.
2. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K., *Problemy seleksii sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh*, Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe predpriyatie RAN, 1997, 283p.
3. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., *Selskokhozyaistvennaya biologiya*, 2011, Vol. 46, No. 2, pp. 51–56. (In Russ.).
4. Kochneva M.L., Buteeva S.K., Zhidenova A.N., *Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya* (Bacteriology: state and development prospects) Proceeding of the VIII Moscow International Congress, March 17–20, 2015, Moscow, 2015, pp. 220–222. (In Russ.).
5. Konovalova T.V., *Kormoproizvodstvo, produktivnost, dolgoletie i blagopoluchie zivotnykh* (Feed production, productivity, longevity and animal welfare), Proceeding of the International Scientific conference, October 04–05, 2018, Novosibirsk, 2018, pp. 28–30. (In Russ.)
6. Kulikova S.G., *Tsitogeneticheskii monitoring krupnogo rogatogo skota v raznykh ekologicheskikh zonakh Zapadnoi Sibiri i Severnogo Kazakhstana* (Cytogenetic monitoring of cattle in different ecological zones of Western Siberia and Northern Kazakhstan), Doctors thesis, Novosibirsk, 1998, 294 p.

7. Samsonov D.V., *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceeding of 2nd All-Russia Conference, February 26, 2019, Novosibirsk, 2019, pp. 346–348. (In Russ.)
8. Petukhov V.L., Ernst L.K., Zheltikov A.I., *Sposob polucheniya vysokoproduktivnykh proizvoditelei sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh*, Patent №2414124 s 20.03.2011, Zayavka №2009122691\10 ot 15.06.2009.
9. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Syso A.I., Sebezhko O.I., Shinin N.I., Fedaev J.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Osadchuk L.V., Cadmium accumulation in soil, fodder, grain, organs and muscle tissue of cattle in West Siberia, *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2016, Vol. 7, No. 4, pp. 1758–1764.
10. Osadchuk L.V., Kleshnev M.A., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Shinin N.I., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Characterizing physiological status in three breeds of bulls reared under ecological and climate conditions of the Altai, *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 2017, Vol. 31, No. 1, pp. 35–42.
11. Iannuzzi A., Parma P., Iannuzzi L., Chromosome Abnormalities and Fertility in Domestic Bovids: A Review, *Animals*, 2021, Vol. 11(3), p. 802. <https://doi.org/10.3390/ani11030802>.
12. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.L., Dimov G., Storzuk S.I., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and selection of sheep), Novosibirsk, NSAU, ITsiG, 2010, 524 p.
13. Kulikova S.G., Petukhov V.L., Grafodatskii A.S., *Tsitologiya i genetika*, 1991, Vol. 25, No. 2, pp. 29–32 (In Russ.).
14. Kulikova S.G., Petukhov V.L., Ernst L.K., *Somaticheskie khromosomnye aberratsii u krupnogo rogatogo skota s vrozhdennoi patologiei* (Somatic chromosomal aberrations in cattle with congenital pathology), Proceeding of the Russian Agricultural Academy of Sciences, 1996, No. 6, pp. 33–34.
15. Nezavitin A.G., Petukhov V.L., Vlasenko A.N., *Problemy sel'skokhozyaistvennoi ekologii* (Problems of agricultural ecology), Novosibirsk, NSAU, 2000, 255 p.
16. Kamaldinov E.V., Kushnir A.V., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2010, No. 12 (216), pp. 67–73 (In Russ.).
17. Andreeva V.A., Li V., Lyu M., Konovalova T.V., Klimanova E.A., Sebezhko O.I., Nazarenko A.V., *Vestnik NSAU*, 2019, No. 1 (53), pp. 23–31 (In Russ.).
18. Kachura V.S., *Tsitologiya i genetika*, 1982, Vol. 16, No. 4, pp. 60–71. (In Russ.).
19. Kochneva M.L., *Monitoring populyatsii sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh v raznykh ekologicheskikh usloviyakh* (Monitoring of populations of farm animals in different environmental conditions), Doctor's thesis, Novosibirsk, 2005, 292 p.
20. Samsonov D.V., *Aktualnye problemy selskogo khozyaystva gornykh territoriy* (Actual problems of mountain agriculture), Proceeding of the VII Scientific conference dedicated to the 70th anniversary of Gorno-Altai State University, June 06–09, 2019, Gorno-Altai, 2019, pp. 192–194. (In Russ.)
21. Samsonov D.V., *Vestnik NSAU*, 2020, No. 3 (56), pp. 123–130 (In Russ.).
22. Kochneva M.L., Zhidenova A.B., Biltuleva L.S., Kisileva T.Y., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2011, No. 6, pp. 84–88. (In Russ.)
23. Kulikova S.G., *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*, 2015, No. 3, p. 584 (In Russ.).
24. Moorhead P.S., Nowell P.C., Mellman W.J., Battlps D.M., Hunge-jord D.A., Chromosome preparations of leucocytes cultured from human peripheral blood, *Exptl Cell Res.*, 1960, Vol. 20, No. 3, pp. 613–616.
25. Bochkov N.P., Kozlov V.M., Sevankaev A.V., Antoshchina M.M., *Genetika*, 1966, No. 10, pp. 120–124 (In Russ.).

26. Zhigachev A.I., *Geneticheskii gruz i monitoring vrednykh mutatsii v populyatsiyakh krupno-rogatogo skota* (Genetic cargo and monitoring of harmful mutations in cattle populations), Doctor's thesis, Leningrad, Pushkin, VNIIRGZh, 1987, 234 p.
27. Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Cooper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, Vol. 44, No. 5, p. 74.
28. Kulikova S.G., Cytogenetic studies of calf's of the black and white breed with congenital abnormalities, *Proceeding 8th North American collegium on Domestic Animal Cytogenetics and Gene Mapping*, 1993, pp. 139–141.
29. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Osadchuk L.V., Direct determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
30. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V., Sokolov V.A. Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
31. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Zheltikov A.I., Marenkov V.G., Nezavitin A.G., Osadchuk L.V., Chysyma R.B., Kuzmina E.E. Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation on hevly metals in organs and tissues, and resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.