



Biology in Agriculture

ISSN 2311-9322 (Print), ISSN 2311-9330 (Online)

Биология

В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ №2, 2018

Научно-практический и теоретический журнал



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина»

Фундаментальные и прикладные исследования по селекции, генетике, биотехнологии, физиологии,
этологии, микробиологии и многим другим отраслям современной науки

scientia, virtus, libertas

≡ Russian Federation ≡

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина»

Главный редактор:	Содержание	стр.
А.И. Шендаков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член Союза писателей России	Современные проблемы селекции и генетики сельскохозяйственных животных	
Редакционная коллегия:		
В.С. Буяров (председатель), д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)	<i>А. И. Шендаков</i> Эффективность геномного анализа племенной ценности голштинских быков-производителей в сравнении с оценкой по дочерям при использовании европейских индексов отбора	2
И.А. Егоров, д. б.н., профессор, академик РАН (г. Москва)	Актуальные вопросы зооигиены и ветеринарии	
А.С. Делян, д. с.-х. н., профессор (г. Москва)	<i>Б.Л. Белкин</i> Проблемы адаптации европейского чёрнопёстрого крупного рогатого скота в зоне сухих субтропиков Средней Азии.....	12
Л.В. Калашникова, д. филолог. наук, профессор (г. Орёл)	<i>Н.В. Мурленков, Е.С. Морозова, А.И. Шендаков, Н.В. Абрамова</i> Оптимальный возраст предупреждения роста рогов у телят химическим методом декорнуации.....	14
С.И. Кононенко, д. с.-х. н., профессор (г. Краснодар)	Экологическая генетика	
А.А. Коровушкин, д. биол. н., профессор (г. Рязань)	<i>В.И. Крюков</i> Индукция микроядер в эритроцитах карпа при сочетанном действии ионов меди и низкочастотного электромагнитного поля	17
С.Д. Князев, д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)	Современные аспекты пчеловодства	
В.И. Крюков, д. биол. н., профессор (г. Орёл)	<i>Н.И. Велкова, В.П. Наумкин</i> Цветочно-нектарный конвейер горчицы белой (<i>Sinapis alba L.</i>) в местах обитания среднерусской породы пчёл	31
Р.Н. Ляшук, д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)		
В.В. Обливанцов, д. с.-х. н., профессор (г. Севастополь)		
С.Н. Харитонов, д. с.-х. н., профессор (г. Москва)		
М.А. Shariati, Islamic Azad University (г. Тегеран)		

Адрес издателя и редакции: 302019, Россия, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69
Свидетельство о регистрации СМИ выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), ПИ №ФС 77-70557 от 03.08.2017 г. (предыдущее свидетельство ПИ №ФС 77-54372 от 29.05.2013 г.)

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. **Адрес издательства** (типографии): 302028, г. Орёл, бульвар Победы, 19, лицензия ЛРН№021325 от 23.02.1999 г.

Язык: русский, английский

Телефон: гл. редактор – 8-953-816-78-84, **факс:** +7 (4862) 76-06-64

E-mail: bio413@ya.ru (для материалов), aish78@yandex.ru (для переписки)

Сдано в набор: 28.05.2018 г. **Подписано в печать:** 04.06.2018 г.

Дата выхода: 15.06.2018 г.

Периодичность выхода, объём: 4 раза в год, до 100 страниц, А4.

Тираж: 300 экземпляров. Цена свободная.

Формат: 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Фото на обложке: пчела на цветке вишни.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Перепечатка материалов с письменного разрешения главного редактора.

А. И. Шендаков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
A.I. Shendakov, Doctor of Agricultural Sciences, professor
Орловский ГАУ, e-mail: bio413@ya.ru
Orel State Agrarian University, Orel City, Russia

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНОМНОГО АНАЛИЗА ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ
ГОЛШТИНСКИХ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В СРАВНЕНИИ С ОЦЕНКОЙ ПО ДОЧЕРЯМ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕВРОПЕЙСКИХ ИНДЕКСОВ ОТБОРА**

(The efficiency of genomic analysis of the breeding value of Holstein sires
in comparison with the evaluation by daughters when using European selection indices)

В практику животноводства во всём мире активно внедряется геномный анализ, однако в России этот метод используется только в отдельных случаях, селекционеры придерживаются классического метода оценки быков-производителей по дочерям. В связи с этим целью исследований в данной научной работе являлось сравнение племенной ценности голштинских быков-производителей немецкого происхождения, прошедших геномную оценку и оценку по дочерям. В научной статье рассмотрены вопросы эффективности геномного анализа племенной ценности чёрно-пёстрых голштинских и красно-пёстрых голштинских быков-производителей в сравнении с оценкой по дочерям. Дано сравнение величин индексов *RZG*, *RZM*, *RZE*, *RZS*, *RZN*, *RZD*, *RZKd*, *RZR*, *RZFit* и *RZRobot* при геномной оценке и оценке по дочерям, проанализированы стандартные отклонения и коэффициенты вариации индексов. Определено, что у чёрно-пёстрых голштинских быков-производителей все изученные индексы при геномной оценке ($n=432$) были выше, чем при оценке по дочерям ($n=467$), от 2,5 (по *RZD*) до 14,7 (по *RZFit*) и 15,9 (по *RZG*). При этом все отличия были достоверны при $p<0,001$. У красно-пёстрых голштинских быков-производителей, прошедших геномную оценку ($n=118$), почти все индексы племенной ценности были выше, чем у быков-производителей, оцененных по дочерям ($n=146$). Отличия составили от 1,4 (по *RZKd*) до 15,6 (по *RZG*). Исключение составил индекс *RZRobot*, который был ниже при геномной оценке. Геномная оценка способствовала усилению желательных корреляций между индексами, а фактор «метод оценки» дал от 9,5 до 17,2% силы влияния. В целом, сделан вывод, что оценка племенной ценности голштинских быков-производителей даёт положительный результат, однако не все индексы племенной ценности при геномной оценке могут превосходить аналогичные индексы при оценке по дочерям. Геномная оценка менее эффективна по тем признакам и индексам, которые в большей мере подвержены влиянию паратипических факторов.

Ключевые слова: голштинская порода, геномная оценка, общий индекс племенной ценности, быки-производители, German Genetics International GmbH.

Введение. В настоящее время скотоводство РФ нуждается в серьёзной модернизации [1, 31], примерами существенного увеличения молочной продуктивности может быть ряд предприятий и областей, активно развивающих молочное скотоводство [2, 20,

Genomic analysis is actively introduced into the practice of animal breeding in developed countries of the world, but in Russia this method is used only in some cases, and the breeders adhere to the classical method of evaluating sires by daughters. For this reason, the aim of the research in this scientific work was to compare the breeding value of the Holstein sires from the German population, which were genomically evaluated and evaluated by daughters. The scientific article presents the effect of genomic analysis of breeding value of Black-and-White and Red-and-White Holstein sires in comparison with the evaluation by daughters. Comparison of the values of the *RZG*, *RZM*, *RZE*, *RZS*, *RZN*, *RZD*, *RZKd*, *RZR*, *RZFit* and *RZRobot* indices in performing genomic evaluation and evaluation by daughters was made, and standard deviations and coefficients of variation of indices were analyzed. It was determined that the Black-and-White Holstein sires had all the indices studied for genomic evaluation ($n=432$) higher than those for the evaluation by daughters ($n=467$) – from 2.5 (*RZD*) to 14.7 (*RZFit*) and 15.9 (*RZG*). In this case, all differences were significant at $p<0.001$.) Almost all indices of breeding value of the Red-and-White Holstein sires who were genomically evaluated ($n=118$) were higher than those indices of breeding value evaluated by daughters ($n=146$). The differences were from 1.4 (*RZKd*) to 15.6 (*RZG*). The exception was the *RZRobot* index, which was lower for the genomic evaluation. The genomic evaluation contributed to the strengthening of the desired correlations between the indices, and the "evaluation method" factor gave 9.5 to 17.2% of the determination. In general, it was concluded that the assessment of the breeding value of Holstein sires gives a positive result, but not all indices of breeding value for genomic evaluation can outperform similar indices when evaluated by daughters. The genomic evaluation is less effective for those signs and indices, which are more influenced by environmental factors.

Key words: Holstein breed, genomic evaluation, relative breeding value total merit index, sire, German Genetics International GmbH (GGI).

37, 38]. В настоящее время многие отечественные учёные поднимают и решают вопросы селекции по классическим методикам, к которым относится использование семейств при разведении [23], скрещивание [18, 19], отбор и подбор [27], построение селек-

ционных индексов и оценка племенной ценности [16, 30, 32]. Вместе с этим большое внимание уделяется экстерьеру крупного рогатого скота [12, 40], воспроизводительным качествам коров и быков-производителей [10, 14], качеству семени [17], резистентности организма животных [8], биологическим качествам скота [33], оценке быков-производителей [15] и пр. Анализ публикаций журнала «Молочное и мясное скотоводство» позволяет подчеркнуть, что в последние годы авторы научных статей всё чаще говорят о необходимости генетического мониторинга и генетического контроля [3, 5, 6, 24], однако частую генетический мониторинг и генетическое разнообразие понимается как иммуногенетический полиморфизм, концентрация тех или иных эритроцитарных факторов в стадах [5, 6, 9, 24 и др.]. В отдельных случаях учёные затрагивают вопросы генетических характеристик, полученных с применением ДНК-анализа [4, 7, 21, 36]. Актуальным является выявление комплекса скрытых генетических аномалий, особенно у скота импортного происхождения [13]. Не менее важно исследование полиморфизма отдельных локусов, применяемого в селекции крупного рогатого скота [11, 22, 39], однако организация селекции скота за рубежом существенно отличается от организации селекции в России [35]. В нашей стране только отдельные научные работы посвящены изучению геномного анализа, широко применяемого в Европе и США [25, 26, 28, 29, 34]. Связано это с тем, что в странах с развитым животноводством прикладная и фундаментальная генетика прошла целый ряд этапов развития.

Если кратко рассмотреть эволюцию методов генетики, применяемых в селекции молочного скота, то можно выделить несколько этапов: 1) изучение наследуемости и изменчивости по фенотипическим данным с помощью классических методов [44, 45]; 2) более подробный анализ так называемых «генетических параметров» [50], в том числе генетических корреляций, взаимосвязи «генотип-среда», аддитивной и неаддитивной наследуемости и пр.; 3) маркерная селекция с использованием различных генетических факторов [46], использование в селекции как отдельных генов, так и эритроцитарных факторов, цитогенетика [48]; 4) исследование генетических параметров с помощью многофакторного анализа, который позволили выполнять, в том числе, специализированные компьютерные программы [42]; 5) активный поиск генов, ассоциированных с различными продуктивными признаками [43, 49, 56]; 6) геномная селекция и полногеномный анализ [41, 47, 51-55, 57-60].

Каждое научное направление в рамках этих этапов прошло свои уровни развития, отдельные методы были признаны ошибочными, однако сложно отрицать тот факт, что в настоящее время селекция вышла на принципиально иной уровень получения объективной информации о генотипе и геноме животных. Так, в настоящее время геномный анализ проводится не только в США, но в ряде стран мира – в Ирландии [41], Южной Африке [47], Германии [52], Новой Зеландии [53] и ряде других стран. С помощью геномной селекции решаются актуальные проблемы скрещивания местных популяций с голштинами, генетической структуры смешанных популяций, оценивают-

ся перспективы геномной оценки быков-производителей в сравнении с классическими методами оценки племенной ценности и пр.

Таким образом, в течение последних десятилетий генетическому анализу и, в частности, геномной селекции за границей было посвящено много статей известных учёных. Решение проблем геномной селекции крайне необходимо и в России, что подтверждает целесообразность наших исследований, *целью* которых являлось сравнение племенной ценности голштинских быков-производителей немецкого происхождения, прошедших геномную оценку и оценку по дочерям. В соответствии с целью были поставлены задачи: 1) сравнить индексы племенной ценности при геномной оценке и оценке по дочерям у чёрно-пёстрых голштинских и красно-пёстрых голштинских быков-производителей; 2) изучить фенотипическую изменчивость индексов племенной ценности при геномной оценке и оценке быков-производителей по дочерям; 3) изучить корреляции между индексами племенной ценности при геномной оценке и оценке быков-производителей по дочерям; 4) определить силу влияния генетических и паратипических факторов на индексы отбора; 5) определить трансгрессии индексов племенной ценности при оценке по дочерям и геномной оценке; 6) сделать выводы и предложения по дальнейшему внедрению геномной оценки в практику молочного скотоводства.

Материалы и методы исследований.

Исследования базы данных голштинских быков-производителей, семя которых немецкая компания **German Genetics International GmbH (GGI)** предлагает в 2018 году, были проведены с использованием официальной информации, предоставленной на русифицированном сайте организации (<http://www.ggi.de/ru/glavnaja/>). Было дано сравнение племенной ценности голштинских и красно-пёстрых голштинских быков-производителей при оценке по дочерям и геномной оценке. Первичная информация по каждому быку-производителю для анализа копировалась в компьютерную программу «Microsoft Excel».

В работе были проанализированы следующие индексы племенной ценности, применяемые в Германии:

RZG – relative breeding value total merit index, который включает компоненты (индексы) с весом от 3 до 45% (см. рисунок 1);

RZE – relative breeding value conformation, который включает оценку молочного типа (вес признака в индексе 10%), телосложения (20%), конечностей (30%) и вымени (40%);

RZD – relative breeding value milking speed, включающий скорость молокоотдачи в кг/мин (вес признака в индексе 50%), мнение владельца о температуре – подвижный, нормальный или сложный (50%);

RZKd – relative breeding value calving ease (direct calving ease), индекс, который представляет собой оценку лёгкости первого отёла, в том числе лёгкость отёлов от семени быков-производителей (50%) и их влияние на мёртвоорождаемость (50%);

RZFit - *relative breeding value fitness*, представляющий собой сложный индекс, который включает *Complex fertility* (RZR – 20%), *Calving traits maternal* (RZKm – 20%), *Complex longevity* (RZN – 15%), оценку конечностей и вымени (15 и 10% соответственно), *Complex udder health* (RZS – 10%), *Complex milk production* (RZM – 10%).



Рис. 1. – Компоненты общего индекса племенной ценности для голштинской породы в Германии (по данным German Genetics International [61].)

Также при оценке эффективности геномной оценки применялся индекс относительной племенной ценности *Relative breeding value RZRobot*, введённый в популяции для упрощения закрепления быков-производителей к фермам, применяющим автоматизированные и/или роботизированные системы доения. Данный индекс включает в себя *Milking speed* (RZD) (has to be ≥ 94), *Somatic cell count* (RZS), оценку конечностей, *Rear teat placement* (has to be ≤ 106), *Teat length* (has to be ≥ 94), оценку вымени (соответственно вес индексов в общем индексе составляет 20, 15, 15, 20, 20 и 10%) [61]. Таким образом, этот индекс также включал в себя оценку скорости молокоотдачи, количества соматических клеток, расположения задних сосков и длины сосков. С точки зрения геномной селекции, подразумевалось, что все признаки, входящие в индексы отбора, могут иметь ассоциации с нуклеотидными последовательностями, обнаруженными в процессе геномного анализа, так называемыми **SNP-маркерами**, или *Single Nucleotide Polymorphism*, которые состоят только из одного нуклеотида и для каждого из которых существует лишь два различных варианта последовательности в геноме представителей всей популяции. Каждое животное несет генетическую информацию в виде двойного набора хромосом - один от отца, другой от матери, т.е. каждый маркер одного животного может иметь три различных состояния: гомозиготное – аллели **AA**, гомозиготное – аллели **BB** и гетерозиготное **AB**. Гетерозиготность означает, что животное унаследовало от отца и от матери различные аллели [61].

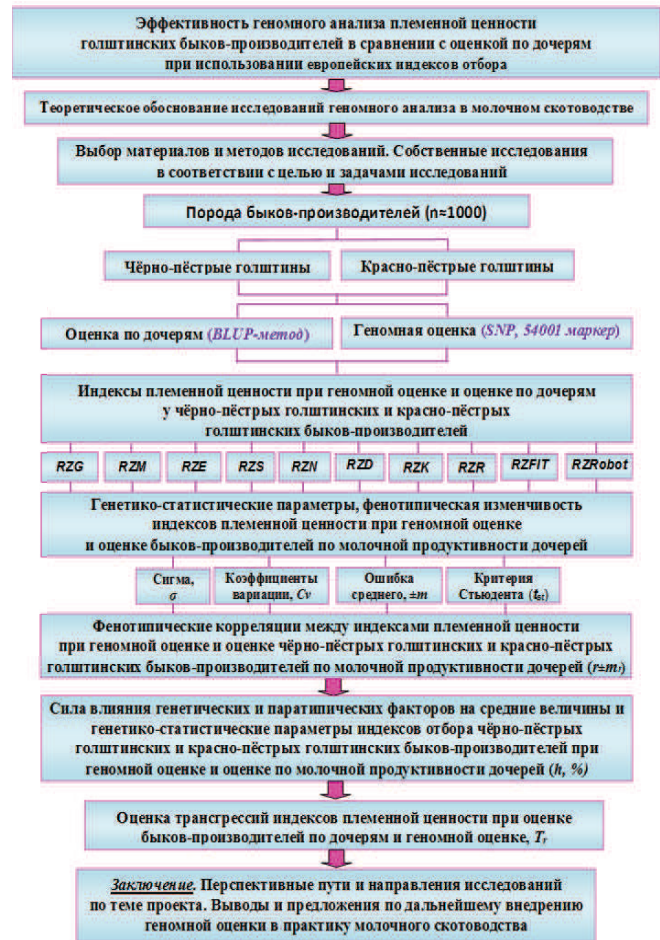


Рис. 2. -Схема исследований эффективности геномного анализа в сравнении с оценкой быков-производителей по дочерям

Исследования проходили по схеме, представленной на рисунке 2, который отражает все этапы и задачи исследований.

Результаты и их обсуждение.

Исследования показали (см. рисунок 3), что у голштинских быков-производителей все изученные индексы при геномной оценке (n=432) были выше, чем при оценке по дочерям (n=467), от 2,5 (по RZD) до 14,7 (по RZFit) и 15,9 (по RZG). При этом все различия были достоверны при $p < 0,001$ (см. таблицу 2).

Анализ данных рисунка 4 показал, что у красно-пёстрых голштинских быков-производителей, прошедших геномную оценку (n=118), почти все индексы племенной ценности были выше, чем у быков-производителей, оцененных по дочерям (n=146). Отличия составили от 1,4 (по RZKd) до 15,6 (по RZG). Исключением стал индекс RZRobot, который был ниже при геномной оценке. В целом, по RZD, RZR и RZRobot достоверных различий в сравнении с классической оценкой получено не было (см. таблицу 2).

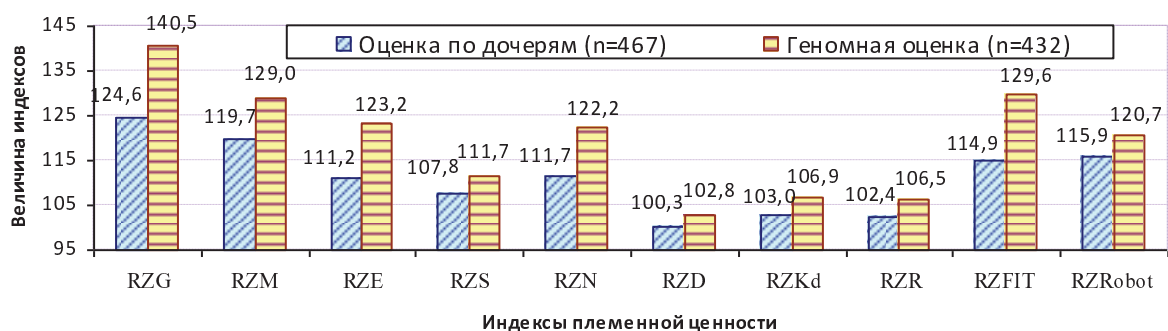


Рис. 3. – Индексы племенной ценности голштинских быков-производителей немецкого происхождения в зависимости от метода оценки (2018 г)

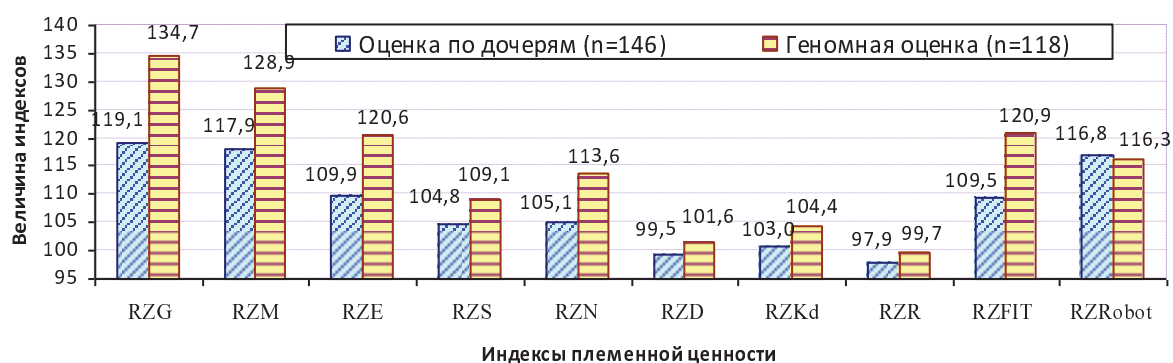


Рис. 4. – Индексы племенной ценности красно-пёстрых голштинских быков-производителей немецкого происхождения в зависимости от метода оценки (2018 г)

Таблица 1 – Изменчивость племенной ценности голштинских быков-производителей немецкого происхождения при оценке по дочерям и геномной оценке

Порода	Метод оценки	n	Генетико-статистические параметры индексов (σ)									
			RZG	RZM	RZE	RZS	RZN	RZD	RZKd	RZR	RZFIT	RZRobot
Стандартное отклонение индексов племенной ценности (σ)												
Голштинская	По дочерям	467	7,8	9,9	10,0	9,2	8,4	9,3	6,7	10,1	8,9	7,9
	Геномная	432	9,4	9,8	8,0	8,2	7,8	8,2	6,4	8,3	8,3	7,9
Красно-пёстрая голштинская	По дочерям	146	6,5	9,4	11,1	9,0	8,3	9,8	6,8	9,7	8,9	7,8
	Геномная	118	9,3	9,5	7,7	7,3	6,6	8,6	7,2	7,4	7,6	8,2
Вариация индексов племенной ценности (C_v)												
Голштинская	По дочерям	467	6,3	8,2	9,0	8,5	7,5	9,3	6,5	9,9	7,7	6,8
	Геномная	432	6,7	7,6	6,5	7,4	6,4	8,0	5,9	7,8	6,4	6,5
Красно-пёстрая голштинская	По дочерям	146	5,4	8,0	10,1	8,6	7,9	9,8	6,7	9,9	8,1	6,7
	Геномная	118	8,6	7,4	7,1	7,5	6,4	8,3	6,0	7,4	6,3	7,0
Ошибка индексов племенной ценности ($\pm m$)												
Голштинская	По дочерям	467	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4
	Геномная	432	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
Красно-пёстрая голштинская	По дочерям	146	0,5	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6
	Геномная	118	0,8	0,9	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7

Стандартные отклонения (σ) изученных индексов (см. таблицу 1) у быков-производителей двух пород колебались в пределах от 6,5-6,6 до 10,1-11,1, однако при геномной оценке они были в основном ниже, чем при оценке по дочерям. Между тем, стандартные отклонения общего основного индекса племенной ценности (RZG) при геномной оценке были выше на 1,6 и 2,8. Схожая тенденция прослеживалась

по коэффициенту фенотипической изменчивости (C_v). В частности, наибольший C_v был получен по индексу RZE при оценке по дочерям (9,0-10,1%). Геномная оценка дала 5,9-6,0% изменчивости по индексу RZKd, хотя общий индекс RZG при геномной оценке варьировал сильнее, чем при оценке по дочерям (на 0,4-3,2%).

Таблица 2 – Фактическое значение критерия Стьюдента при оценке племенной ценности голштинских быков-производителей немецкого происхождения (***) - $p < 0,001$

Порода	Метод оценки	Голов (n)	Фактическое значение критерия Стьюдента (t_{st})									
			RZG	RZM	RZE	RZS	RZN	RZD	RZKd	RZR	RZFIT	RZRobot
Голштинская	По дочерям	467	28,1	13,1	18,7	6,9	18,5	4,4	9,2	6,4	26,0	8,5
	Геномная	432	Все отличия по индексам достоверны при $p < 0,001$									
Красно-пёстрая голштинская	По дочерям	146	16,5***	9,1***	9,4***	4,3***	9,2***	1,8	3,8***	1,7	11,5***	0,54
	Геномная	118										

Таблица 3 – Корреляции индексов племенной ценности голштинских быков-производителей немецкого происхождения при геномной оценке и оценке по дочерям

Порода	Метод оценки	Индексы	Коэффициенты корреляций и их ошибки, r (слева) и $\pm m_r$ (справа)									
			RZG	RZM	RZE	RZS	RZN	RZD	RZKd	RZR	RZFIT	RZRobot
Голштинская	По дочерям (n=467)	RZG	-	0,022	0,044	0,045	0,039	0,046	0,045	0,046	0,037	0,046
		RZM	0,717	-	0,045	0,044	0,044	0,046	0,046	0,040	0,043	0,042
		RZE	0,196	-0,167	-	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,037	0,034
		RZS	0,155	-0,185	0,079	-	0,041	0,039	0,046	0,046	0,040	0,041
		RZN	0,385	-0,222	0,126	0,339	-	0,046	0,043	0,039	0,024	0,046
		RZD	-0,070	0,003	0,034	-0,397	-0,030	-	0,046	0,046	0,046	0,046
		RZKd	0,143	-0,030	-0,002	0,045	0,255	0,095	-	0,045	0,041	0,046
		RZR	0,098	-0,366	≈0	0,061	0,396	-0,029	0,157	-	0,026	0,045
		RZFIT	0,452	-0,240	0,431	0,382	0,694	-0,078	0,321	0,664	-	0,039
	RZRobot	-0,027	-0,288	0,516	0,307	0,081	0,118	-0,006	0,173	0,387	-	
	Геномная (n=432)	RZG	-	0,016	0,043	0,043	0,034	0,048	0,048	0,048	0,027	0,043
		RZM	0,818	-	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,044	0,047	0,048
		RZE	0,340	0,022	-	0,045	0,044	0,047	0,047	0,048	0,034	0,032
		RZS	0,325	-0,020	0,244	-	0,038	0,044	0,048	0,048	0,033	0,040
		RZN	0,545	0,058	0,293	0,461	-	0,048	0,048	0,043	0,020	0,040
		RZD	-0,011	-0,014	0,140	-0,308	0,022	-	0,048	0,048	0,048	0,045
		RZKd	-0,035	-0,067	-0,160	-0,030	0,057	0,044	-	0,047	0,047	0,047
		RZR	0,055	-0,281	-0,049	0,078	0,326	0,003	0,156	-	0,034	0,047
RZFIT		0,665	0,149	0,535	0,546	0,768	0,001	0,071	0,532	-	0,035	
RZRobot	0,334	-0,011	0,578	0,407	0,403	0,260	-0,175	0,120	0,515	-		
Красно-пёстрая голштинская	По дочерям (n=146)	RZG	-	0,056	0,070	0,082	0,078	0,082	0,083	0,082	0,068	0,082
		RZM	0,567	-	0,080	0,072	0,059	0,083	0,083	0,057	0,064	0,082
		RZE	0,382	-0,199	-	0,080	0,078	0,081	0,081	0,079	0,053	0,074
		RZS	0,097	-0,361	0,186	-	0,071	0,075	0,083	0,079	0,061	0,078
		RZN	0,237	-0,540	0,245	0,380	-	0,082	0,081	0,044	0,032	0,078
		RZD	-0,121	0,060	-0,122	-0,304	-0,111	-	0,082	0,082	0,079	0,065
		RZKd	0,065	0,003	-0,161	-0,001	0,149	-0,089	-	0,082	0,082	0,075
		RZR	0,115	-0,562	0,208	0,230	0,688	-0,087	0,078	-	0,040	0,082
		RZFIT	0,419	-0,476	0,598	0,515	0,784	-0,209	0,111	0,721	-	0,077
	RZRobot	0,153	-0,119	0,331	0,232	0,239	0,455	-0,312	0,090	0,267	-	
	Геномная (n=118)	RZG	-	0,023	0,078	0,087	0,067	0,092	0,091	0,091	0,045	0,090
		RZM	0,861	-	0,091	0,092	0,091	0,092	0,090	0,090	0,084	0,092
		RZE	0,398	0,138	-	0,091	0,086	0,089	0,092	0,092	0,061	0,070
		RZS	0,252	0,003	0,111	-	0,077	0,082	0,092	0,092	0,076	0,085
		RZN	0,523	0,097	0,273	0,404	-	0,092	0,092	0,082	0,043	0,082
		RZD	-0,037	-0,053	0,169	-0,335	0,055	-	0,092	0,092	0,092	0,084
		RZKd	0,122	0,139	0,030	-0,094	-0,056	0,006	-	0,091	0,091	0,084
		RZR	0,107	-0,172	-0,062	0,007	0,330	-0,065	0,106	-	0,067	0,091
RZFIT		0,710	0,290	0,582	0,413	0,728	0,015	0,116	0,521	-	0,083	
RZRobot	0,165	-0,031	0,487	0,286	0,336	0,308	-0,308	-0,134	0,314	-		

Анализ коэффициентов корреляций ($r \pm m_r$) между индексами племенной ценности при геномной оценке и оценке по дочерям (см. таблицу 3) показал, что при геномной оценке большинство корреляций были выше независимо от породы. Так, у чёрно-пёстрых голштинских быков корреляции *RZG* (*relative breeding value total merit index*) и *RZM* при геномной оценке и оценке по дочерям составили $0,818 \pm 0,016$ и $0,717 \pm 0,022$ соответственно. У красно-пёстрых голштинских быков эти коэффициенты корреляций составили $0,861 \pm 0,023$ и $0,567 \pm 0,056$ соответственно. Корреляции индексов *RZN* и *RZG* при геномной оценке и оценке по дочерям у чёрно-пёстрых голштинских быков-производителей составили $0,545 \pm 0,034$ и $0,385 \pm 0,039$, а у красно-пёстрых голштинов – $0,523 \pm 0,067$ и $0,237 \pm 0,078$ соответственно. Высокие корреляции также были получены между *RZG* и *RZFIt* (*relative breeding value fitness*) у быков-производителей обеих пород, а геномная оценка была лучше по данным корреляциям у чёрно-пёстрой голштинской породы на 0,213 и у красно-пёстрой голштинской – на 0,291 (при достоверности $p < 0,001$). Вместе с тем, были получены отрицательные корреляции между индексом, характеризующим молочную продуктивность дочерей (*RZM*), и большинством индексов – на уровне до $-0,366 \pm 0,040$ у чёрно-пёстрых голштинов и до $-0,562 \pm 0,090$ у красно-пёстрых голштинов. При геномной оценке, однако, отрицательные коэффициенты не были столь отрицательными, они возросли до $-0,281 \pm 0,044$ и $-0,172 \pm 0,090$, а общее количество отрицательных корреляций между этими индексами снизилось с 7 и 6 до 5 и 3 соответственно.

Анализ достоверности различий коэффициентов корреляций при геномной оценке над коэффициента-

ми корреляций, полученными при оценке по дочерям (см. таблицу 4), показал, что у чёрно-пёстрых голштинских быков-производителей *RZG* достоверно положительнее коррелировал с *RZM* ($p < 0,001$), *RZE* ($p < 0,05$), *RZS* ($p < 0,001$), *RZN* ($p < 0,01$), *RZFIt* ($p < 0,001$) и *RZRobot* ($p < 0,001$). Превосходство в данном случае составило от +0,101 до +0,361. У красно-пёстрых голштинских быков-производителей общий индекс *RZG* дал ухудшение только по связи с *RZR* ($-0,008$), однако превосходство по другим коэффициентам корреляций было достоверно на уровне $p < 0,05$ – $p < 0,001$ только при взаимосвязи *RZG*- *RZM* (+0,294), *RZG*-*RZN* (+0,286) и *RZG*-*RZFIt* (+0,291). Существенным следует считать то, что геномная оценка дала увеличение большинства корреляций *RZM* с другими индексами в изученных породах ($p < 0,05$ – $p < 0,001$). Особенно значимый эффект был получен по *RZM*-*RZFIt* (+0,766) и *RZM*-*RZN* (+0,637) у красно-пёстрых голштинов.

В группе чёрно-пёстрых голштинских быков-производителей достоверное ухудшение коэффициентов корреляций при геномной оценке было получено по взаимосвязи *RZKd*-*RZG* ($p < 0,01$), *RZKd*-*RZE* ($p < 0,05$), *RZKd*-*RZN* ($p < 0,05$), *RZKd*-*RZFIt* ($p < 0,001$), *RZKd*-*RZRobot* ($p < 0,05$), со всеми остальными индексами *RZKd* при геномной оценке также дал ухудшение корреляций. Достоверно хуже при геномной оценке была корреляция *RZR*- *RZFIt* ($-0,132$ при $p < 0,05$). При этом в группе красно-пёстрых голштинских быков-производителей геномная оценка племенной ценности дала достоверное ухудшение корреляций между *RZR* и *RZE*, *RZR* и *RZN*, *RZR* и *RZFIt* (до $-0,270$, $-0,358$ и $-0,200$ соответственно при $p < 0,05$ – $0,001$).

Таблица 4 – Различия коэффициентов корреляций при геномной оценке от коэффициентов корреляций при оценке по дочерям и достоверность различий

Порода	Индексы	Различия коэффициентов корреляций и достоверность, +/- (слева) и p (справа)									
		<i>RZG</i>	<i>RZM</i>	<i>RZE</i>	<i>RZS</i>	<i>RZN</i>	<i>RZD</i>	<i>RZKd</i>	<i>RZR</i>	<i>RZFIT</i>	<i>RZRobot</i>
Голштинская (k=897)	<i>RZG</i>	-	$p < 0,001$	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p > 0,05$	$p < 0,01$	$p > 0,05$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
	<i>RZM</i>	+0,101	-	$p < 0,01$	$p < 0,05$	$p < 0,001$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
	<i>RZE</i>	+0,144	+0,189	-	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,01$
	<i>RZS</i>	+0,170	+0,165	+0,165	-	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,01$	$p > 0,05$
	<i>RZN</i>	+0,160	+0,280	+0,167	+0,122	-	$p > 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,001$
	<i>RZD</i>	+0,059	-0,017	+0,106	+0,089	+0,052	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$
	<i>RZKd</i>	-0,178	-0,037	-0,158	-0,075	-0,198	-0,051	-	$p > 0,05$	$p < 0,001$	$p < 0,05$
	<i>RZR</i>	-0,043	+0,085	-0,049	+0,017	-0,070	+0,032	-0,001	-	$p < 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZFIT</i>	+0,213	+0,389	+0,104	+0,164	+0,074	+0,079	-0,250	-0,132	-	$p < 0,05$
<i>RZRobot</i>	+0,361	+0,277	+0,062	+0,100	+0,322	+0,142	-0,169	-0,053	+0,128	-	
Красно-пёстрая голштинская (k=262)	<i>RZG</i>	-	$p < 0,001$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,01$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,001$	$p > 0,05$
	<i>RZM</i>	+0,294	-	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,001$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p > 0,05$
	<i>RZE</i>	+0,016	+0,337	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZS</i>	+0,155	+0,364	-0,075	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZN</i>	+0,286	+0,637	+0,028	+0,024	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,001$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZD</i>	+0,084	-0,113	+0,291	-0,031	+0,166	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZKd</i>	+0,057	+0,136	+0,191	-0,093	-0,205	+0,095	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZR</i>	-0,008	+0,390	-0,270	-0,223	-0,358	+0,022	+0,028	-	$p < 0,05$	$p > 0,05$
	<i>RZFIT</i>	+0,291	+0,766	-0,016	-0,102	-0,056	+0,224	+0,005	-0,200	-	$p > 0,05$
<i>RZRobot</i>	+0,012	+0,088	+0,156	+0,054	+0,097	-0,147	+0,004	-0,224	+0,047	-	

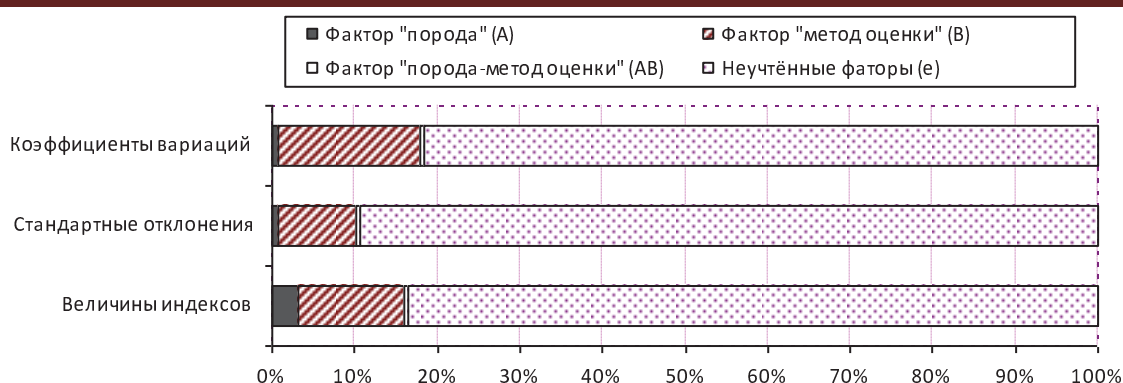


Рис. 5. – Сила влияния факторов на величины индексов и их вариабельность (двухфакторный анализ в ортогональном комплексе, $a=2$, $b=2$, $n=10$, $N=40$)

В дополнение к сказанному следует отметить, что при анализе силы влияния изученных факторов на величины индексов и их вариабельность с помощью двухфакторного дисперсионного анализа нами было определено (см. рисунок 5): фактор «метод оценки» дал от 9,5 до 17,2%. Сила влияния неучтённых факторов на индексы племенной ценности и их вариабельность достигала 81,6-89,3%, что, с одной стороны,

подтверждает некоторый эффект геномной оценки, а с другой – необходимость учёта целого ряда генетических и паратипических факторов, к которым можно отнести линии, условия кормления, технологии содержания и доения и пр. Вполне возможно, что сами индексы племенной ценности, применяемые в Германии, нуждаются в совершенствовании и модернизации.

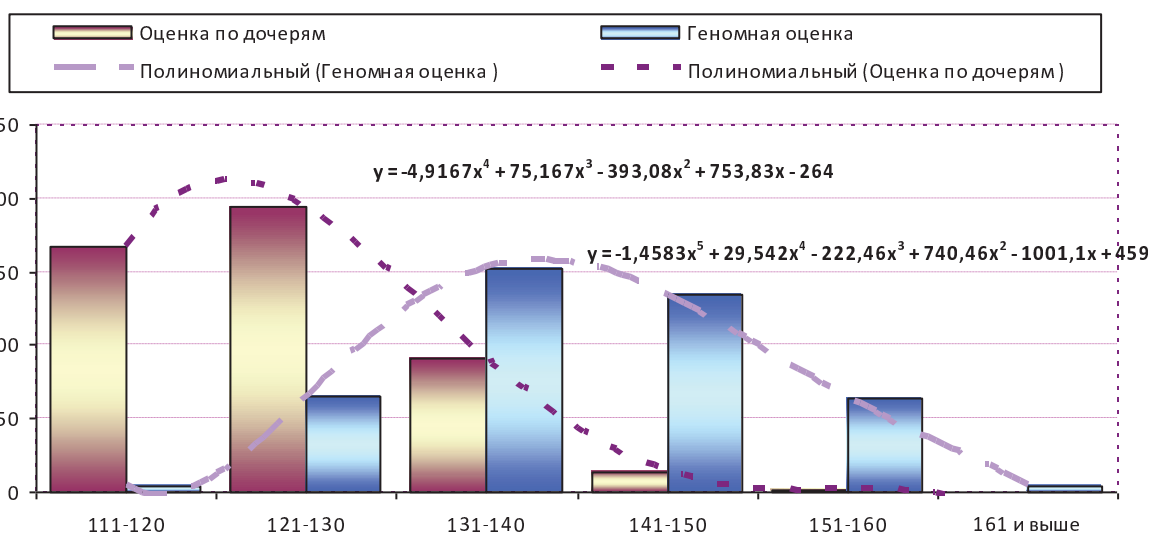


Рис. 6. - Оценка трансгрессий индекса *RZG* у чёрно-пёстрых голштинских быков при оценке по дочерям и геномной племенной ценности

Анализа данных показал (см. рисунок 6), что у чёрно-пёстрых голштинских быков-производителей общий индекс племенной ценности при оценке по дочерям имел градации от 111-120 до 141-150, при геномном анализе племенной ценности градации индексов составили от 121-130 до 161 и выше. Это подтвердило то, что максимальные значения одного распределения совпадали с минимальными распределениями другого распределения, а именно: оценка трансгрессии на уровне $Tr=58,3\%$. Распределение индекса *RZG* при геномном анализе и анализе племенной ценности по дочерям было выражено уравнениями, приведёнными на рисунке 6.

Выводы и предложения.

Таким образом, геномная оценка племенной ценности голштинских быков-производителей в Германии даёт положительный результат, однако не все индексы племенной ценности при геномной оценке могут превосходить аналогичные индексы при оценке по дочерям. Геномная оценка становится менее эффективной по тем признакам и индексам, которые, судя по всему, в большей мере подвержены влиянию паратипических факторов. К таким индексам следует отнести *RZD*, *RZR* и *RZRobot*, т. е. те индексы, которые включают в себя скорость молокоотдачи, количество соматических клеток в молоке, мнение владельца

фермы о темпераменте коровы и пр. Однако геномная оценка может способствовать получению желательных корреляций между индексами племенной ценности независимо от породы, особенно это ощутимо по индексу *RZM*, характеризующему молочную продуктивность скота. Полагаться, вместе с тем, только на одну геномную оценку племенной ценности быков-производителей не следует, поскольку вполне очевидно, что геномная оценка может достоверно вести к ухудшению некоторых желательных корреляций между индексами племенной ценности, особенно это касается *RZKd* (*relative breeding value calving ease*), *RZFit* (*relative breeding value fitness*) и *RZRobot*, то есть теми индексами, которые характеризуют некоторые

функциональные качества, воспроизводительную функцию, лёгкость отёлов, пригодность к роботизированному доению и пр. Вполне очевидно, что для более подробной информации учёным и практикам, заинтересованным в генетическом прогрессе признаков данных пород, целесообразно рекомендовать при использовании геномного анализа проводить анализ генотипической и паратипической изменчивости признаков и индексов отбора, генотипических и паратипических корреляций между индексами племенной ценности. В перспективе при внедрении геномной селекции в отечественное молочное скотоводство следует обращать внимание на данные факты.

Литература

1. **Амерханов Х.А.** Состояние и развитие молочного скотоводства в Российской Федерации. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 1:2-5.
2. **Баранов А.В., Баранова Н.С., Сиротина М.В., Егоров О.С., Подречнева И.Ю.** Генетическое обоснование системы разведения скота костромской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 4:13-16.
3. **Букаров Н.Г., Князева Т.А., Новиков А.А., Хрунова А.И., Марзанов Н.С.** Мониторинг генетической структуры красно-пёстрой и красных пород в племенных стадах. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 5:8-12.
4. **Волкова В.В., Денискова Т.Е., Романенкова О.С., Костюнина О.В., Суетина Н.П., Зиновьева Н.А.** Генетическая характеристика красной горбатовской и суксунской пород крупного рогатого скота по микросателлитным маркерам *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 6:6-8.
5. **Гонтов М.Е., Кольцов Д.Н., Романов Ю.Д., Чернушенко В.К., Попов Н.А.** Генетический контроль селекционных процессов в популяции бурого швицкого скота с использованием маркерных генов групп крови. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 4:17-20.
6. **Грашин А.А., Мещеряков А.Г., Грашин В.А.** Генетический контроль структуры скота самарского типа чёрно-пёстрой породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 8:13-16.
7. **Дубовскова М.П., Герасимов Н.П.** Формирование базы данных селекционных и генетических параметров с учётом полиморфизма ДНК-маркеров скота герефордской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 5:11-13.
8. **Еремينا М.А., Ездакова И.Ю.** Неспецифическая резистентность и показатели продуктивности первотёлоч-дочерей быков разных генетико-иммунологических групп. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018; 1:19-22.
9. **Карымсаков Т.Н., Гладырь Е.А., Нурбаев С.Д., Омбасев А.М., Стрекзов Н.И., Зиновьева Н.А.** Сравнительная характеристика аллелофонда крупного рогатого скота трёх родственных пород чёрно-пёстрого корня, разводимых в Республике Казахстан. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 3:11-14.
10. **Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В.** Новые тест-системы для выявления распространения гапдотипов фертильности крупного рогатого скота айрширской и голштинской пород. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 7:7-10.
11. **Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В., Морковкина Н.А., Шахназарова Ю.Ю.** Использование полиморфизма локуса *LEP* в селекции чёрно-пёстрого скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 3:14-16.
12. **Конгэ А.Ф., Харитонов С.Н., Сермягин А.А., Ермилов А.Н., Янчуков И.Н., Зиновьева Н.А.** Изменчивость селекционно-генетических параметров линейной оценки типа телосложения дочерей быков популяции голштинизированного чёрно-пёстрого скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 8:3-9.
13. **Кузнецов А.В.** Специфические генетические аномалии молочных симменталов австрийской селекции. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 8:2-5.
14. **Кузнецов В.М., Ревина Г.Б.** Взаимосвязь молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров сахалинской популяции голштинской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 4:20-23.
15. **Левина Г.Н., Калмит Е.В., Артюх В.М., Сидельникова В.Г.** Влияние селекции быков-производителей и продуктивных качеств женских предков на интенсивность выращивания тёлоч *Молочное и мясное скотоводство*. – 2017; 6:12-15.
16. **Мельникова Е.Е.** Построение селекционного индекса племенной ценности коров по признакам молочной продуктивности. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 8:6-9.
17. **Нарышкина Е.Н., Сермягин А.А., Янчуков И.Н., Стрекозов Н.И., Зиновьева Н.А.** Влияние генетических и паратипических факторов на качественные и количественные показатели спермы быков-производителей. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 4:15-19.
18. **Никитина С.В.** Молочная продуктивность помесей при разных вариантах скрещивания. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 7:14-15.

19. Никитина С.В., Гавриков А.М. Вариабельность кровности помесных животных при разных вариантах скрещивания и их воспроизводительные качества. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 8:16-19.
20. Племяшов К.В., Лабинов В.В., Сакса Е.И., Смарагдов М.Г., Кудинов А.А., Петрова А.В. Использование метода BLUP ANIMAL MODEL в определении племенной ценности голштинизированного скота Ленинградской области. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 1:2-5.
21. Позовникова М.В., Сердюк Г.Н., Погорельский И.А., Тулинов О.В. Генетическая структура коров молочных пород по ДНК-маркерам и влияние их генотипов на молочную продуктивность. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 2:8-12.
22. Позовникова М.В., Тулинова О.В., Сердюк Г.Н., Митрофанова О.В. Связь полиморфизма гена DGAT1 с хозяйственно-полезными признаками коров. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 8:9-12.
23. Попов Н.А., Иванов В.А., Федотова Е.Г. Работа с семействами в молочном скотоводстве повышает эффективность селекции. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 1:6-10.
24. Попов Н.А., Марзанова Л.К. Генетический мониторинг крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 4:9-13.
25. Рукин И.В., Пантюх Е.С., Груздев Д.С. Геномная селекция – будущее в разведении животных. *Зоотехния*. 2013;7:8-9.
26. Сакса Е.И. Эффективность использования быков, оцененных разными методами, при совершенствовании высокопродуктивных стад. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018;1:5-8.
27. Самоделкин А.Г., Тяпугин С.Е., Еремин С.П., Хламова Е.Г., Никалина Е.А. Роль отбора и подбора при голштинизации чёрно-пёстрого скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017;1:14-15.
28. Сермягин А.А., Ермилов А.Н., Янчуков И.Н., Харитонов С.Н., Племяшов К.В., Тюренкова Е.Н., Стрекозов Н.И., Зиновьева Н.А. Региональная система геномной оценки как базовый элемент национальной программы генетического совершенствования крупного рогатого скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 7:3-7.
29. Сермягин А.А., Нарышкина Е.Н., Карпушкина Т.В., Стрекозов Н.И., Зиновьева Н.А. Перспективы использования оценки геномной племенной ценности в селекции молочного скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2015; 7:2-5.
30. Смотров Е.А., Тулинова О.В. Отбор в стаде коров по полифакторному индексу ИПК₂ в зависимости от уровня воспроизводительных способностей. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 7:10-13.
31. Суровцев В.Н., Никулина Ю.Н., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. Эффективность технологической модернизации молочного скотоводства. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 4:5-10.
32. Сулов Д.Ю., Восводин А.В., Холев С.А., Тяпугин С.Е. Современная оценка племенной ценности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018; 1:9-11.
33. Тамарова Р.В., Ермишин А.С. Сравнительная оценка по биологическим и хозяйственно-полезным качествам молочного скота зарубежной и отечественной селекции. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 7:14-18.
34. Тележенко Е.В. Влияние геномной селекции на стратегию развития племенного молочного животноводства. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 2:3-6.
35. Трухачев В.И., Злыднев Н.З., Селионова М.И. Селекция молочного скота стран Северной Европы: стратегия, результаты (2 часть). *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 5:3-7.
36. Фурсева Н.С., Ганченкова Т.Б., Кертнев Р.М., Калашникова Л.А. Генетическая гетерогенность быков-производителей ярославской породы по маркерам ДНК. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 6:2-4.
37. Хаертдинов Р.А., Закиров И.Р., Зарипов Ф.Р., Хаертдинов Р.Р. Новые подходы к разведению голштинизированного скота по линиям в Татарстане. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 6:5-8.
38. Шмидт Ю.И., Абылкасымов Д. Резервы устойчивого развития молочного скотоводства Тверской области. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 8:20-24.
39. Юльметьева Ю.Р., Шакиров Ш.К. Участие генов-кандидатов липидного обмена в формировании продуктивности коров. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; 1:10-13.
40. Янчуков И.Н., Ермилов А.Н., Антипова Н.С., Александрова М.А. Характеристика признаков экстерьера быков-производителей голштинской породы чёрно-пёстрой и красно-пёстрой масти. *Молочное и мясное скотоводство*. 2016; 7:2-5.
41. Berry D., F. Kearney, and B. Harris. 2009. Genomic selection in Ireland. Pages 29-34 in Proc. Interbull Int. Workshop, Bulletin No. 39. *Interbull*, Uppsala, Sweden.
42. Crawley A.M., Mallard B., Wilkie B.N. Genetic selection for high and low immune response in pigs: Effects on immunoglobulin isotype expression. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 2005; 108:71-76.
43. de Roos A.P.W., Schrooten C., Veerkamp R.F., van Arendonk J.A.M. Effects of genomic selection on genetic improvement, inbreeding, and merit of young versus proven bulls. *J. Dairy Sci.* 2011; 94:1559-1567.
44. Dechow C.D., Rogers G.W., Clay J.S. Heritability and correlations among body condition score loss, body condition score, production and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 2002; 85:3062-3070.
45. Dechow C.D., Rogers G.W., Clay J.S. Heritability and correlations among body condition scores,

- production traits, and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 2001; 84:266-275.
46. **Dekkers J.C.M.** Commercial application of marker- and gene-assisted selection in livestock: Strategies and lessons. *J. Anim. Sci.* 2004;82(E. Suppl.):E313-E328.
47. **Eui-Soo Kim, Max F.** Rothschild Genomic adaptation of admixed dairy cattle in East Africa. *Frontiers in Genetics*. December 2014 | Volume 5 | doi:10.3389/fgene.2014.00443
48. **Eggen A., Fries R.** An integrated cytogenetic and meiotic map of the bovine genome. *Anim. Genet.* 1995; 26:215-236.
49. **Fontanesi L., Scotti E., Russo V.** Analysis of SNPs in the KIT gene of cattle with different coat colour patterns and perspectives to use these markers for breed traceability and authentication of beef and dairy products. *Ital. J. Anim. Sci.* 2010;9:e42
50. **González-Recio O., Ugarte C., Alenda R.** Genetic analysis of an artificial insemination progeny test program. *J. Dairy Sci.* 2005; 88:783-789.
51. **Habier D., Fernando R.L., Dekkers J.C.M.** Genomic selection using low-density marker panels. *Genetics.* 2009; 182:343-353.
52. **Habier D., Tetens J., Seefried F-R, Lichtner P., Thaller G.** The impact of genetic relationship information on genomic breeding values in German Holstein cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2010; 42:5
53. **Harris B.L., Johnson D.L.** Genomic predictions for New Zealand dairy bulls and integration with national genetic evaluation. *J. Dairy Sci.* 2010; 93:1243-1252.
54. **Hayes B., Bowman P., Chamberlain A., Verbyla K., Goddard M.** Accuracy of genomic breeding values in multi-breed dairy cattle populations. *Genet. Sel. Evol.* 2009;41:51
55. **Hayes B.J., Bowman P.J., Chamberlain A.J., Goddard M.E.** Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges. *J. Dairy Sci.* 2009; 92:433-443.
56. **Hayes B.J., Daetwyler H.D., Bowman P., Moser G., Tier B., Crump R., et al.** Accuracy of genomic selection: Comparing theory and results. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 2009; 18:34-37.
57. **Heffner E., Sorrells M., Jannink J.** Genomic selection for crop improvement. *Crop Sci.* 2009; 49:1-12.
58. **Jannink J-L., Lorenz A.J., Iwata H.** Genomic selection in plant breeding: From theory to practice. *Brief. Funct. Genomics.* 2010; 9:166-177.
59. **Olson K.M., VanRaden P.M.** Multibreed genomic evaluation of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2010; 93(E-Suppl. 1):471;(Abstr.)
60. **Toosi A., Fernando R.L., Dekkers J.C.M.** Genomic selection in admixed and crossbred populations. *J. Anim. Sci.* 2010; 88:32-46.
61. <http://www.ggi.de/ru/razvedenie-golstinskogo-skota/genomnaja-selekcija/> Геномная селекция. Дата обращения: 01.01.2018.

Поступила в редакцию: 08.01.2018 г.

Шендаков Андрей Игоревич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», главный редактор журнала «Биология в сельском хозяйстве», aish78@yandex.ru, тел. 8-953-816-78-84

Б.Л. Белкин, доктор ветеринарных наук, профессор
B.L. Belkin, Doctor of Veterinary Science, Professor
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орел, Россия
Orel State Agrarian University, Orel City, Russia
E mail: boris.belkin39@mail.ru

**ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ ЕВРОПЕЙСКОГО ЧЁРНО-ПЁСТРОГО КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА
В ЗОНЕ СУХИХ СУБТРОПИКОВ СРЕДНЕЙ АЗИИ**

(The problems of adaptation of European Black-and-White cattle in the zone of dry subtropics of Middle Asia)

Высокие температуры воздуха зоны сухих субтропиков отрицательно влияют на физиологические функции и продуктивность завозного крупного рогатого скота черно-пестрой породы. Для обеспечения высокой продуктивности их надо содержать в комфортных условиях микроклимата, строго соблюдать рациональный режим кормления и содержания в помещениях и на выгульно-кормовых площадках.

Ключевые слова: телята, коровы, микроклимат, физиологические функции.

Для создания зон молочного скотоводства вокруг промышленных центров зоны сухих субтропиков требуется вдумчивая селекционно-технологическая работа. Для воспроизводства стада не обойтись без завоза из европейской части России и других стран партии телок крупного рогатого скота черно-пестрой породы. Необходимо отрабатывать вопросы содержания животных в новых экологических условиях (Б.Л. Белкин 1980, 1982, 1987, 1990, 1998, 1999; Ш.М. Рузиев, 1982).

В регионе Средней Азии тепла от прямой солнечной радиации поступает в два раза больше, чем в Европе – зоне выведения высокопродуктивного молочного скота. Большая часть года воздух сухой, летом влажность составляет 15-20%, а в отдельные дни – 5% и ниже. Около 150 дней в году температура воздуха повышается до 35-37⁰С и более 10 дней – выше 40⁰ С. Все это определяет повышенные требования к содержанию и кормлению животных, к подбору строительных материалов для ограждающих конструкций здания, системам вентиляции, изысканию эффективных методов предохранения животных от отрицательных высоких температур и солнечной инсоляции.

Цель исследований. Теоретически обосновать и рекомендовать к внедрению требования к параметрам микроклимата в животноводческих зданиях и технологию содержания завозного крупного рогатого скота черно-пестрой породы, обеспечивающие их высокую продуктивность.

Материал и методы исследований. Проведено 150 физиологических опытов (3214 комплексных исследований) на 700 животных (телятах от рождения до шестимесячного возраста, а также коровах 3-5 отела). Изучали клинические показатели, уровень газоэнергетического обмена, потоотделения, морфологические, биохимические и иммунобиологические показатели крови.

High temperature zone of dry subtropics of Central Asia adversely affect the physiological functions and the productivity of imported cattle of black-motley breed. To ensure high productivity they should be kept in a comfortable environment, to observe strictly rational mode of feeding and the maintenance of indoor and free-range-forage sites.

Key words: calves, cows, microclimate, physiological functions.

Уровень газоэнергетического обмена у животных определяли масочным методом после кормления животных, когда затухает реакция на специфическое динамическое действие пищи. Отобранные пробы воздуха исследовали на содержание углекислого газа и кислорода. Расчетным путем определяли глубину дыхания, потребление кислорода и выделение углекислого газа, теплопродукцию, дыхательный коэффициент и другие показатели, характеризующие легочное дыхание и энергетический обмен. Клинические обследования и лабораторные исследования крови проводили по общепринятым методам.

Результаты исследований. В ходе экспериментальных работ установили, что высокая температура окружающей среды оказывает значительное влияние на клинические, гематологические показатели, уровень газоэнергетического обмена, поведение, состояние здоровья и продуктивность взрослых животных и новорожденных телят, полученных от этих коров.

Оказалось, что с возрастом животных зона теплового комфорта меняется. Так, если для телят раннего возраста комфортной является температура окружающего воздуха – 21⁰С, то трехмесячного – 16⁰ С, а шестимесячного возраста – 12⁰С.

В зоне теплового комфорта уровень теплопродукции и потребления кислорода находится на минимальном уровне, а с повышением и понижением температуры воздуха обменные процессы повышаются.

У телят в раннем возрасте при снижении температуры воздуха на 3⁰С, против комфортной, потребление кислорода увеличивается на 5,3%, теплопродукция – на 6,3%, при повышении на 9⁰С, соответственно, 26,8 и 28,9 % (P<0.01). При снижении температуры окружающего воздуха до 9⁰ С газоэнергетический обмен повышается на 58,5-58,8 % (P<0,001).

Высокая температура оказывает значительное влияние на физиологические функции организма животных. Так, при повышении температуры воздуха

на 5⁰С, против комфортной, потребление кислорода возрастает на 9,2%, теплопродукция – на 8,4%, а на 10⁰С, соответственно, на 17,5 и 17,2%.

У телят до шестимесячного возраста на оптимальном уровне процессы метаболизма протекали при температуре 12-16⁰С. Потребление кислорода при этом составило 345,1 мл/(кг.ч), теплопродукция – 6,91 кДж/(кг.ч).

С повышением температуры на 5-6⁰С выше комфортной потребление кислорода возрастало на 7,9%, на 10⁰С – 22,1% и на 15⁰С – 24,4% (P<0,0001). Температура 37⁰С и выше оказалась стрессовой. При такой высокой температуре окружающей среды потребление кислорода, по сравнению с зоной комфорта, увеличивалась на 50,2%, теплопродукция – 52,5% (P<0,001), затруднялась теплоотдача и наблюдалось нарушение температурного гомеостаза.

Высокая температура и низкая подвижность воздуха в зоне нахождения животных способствовали нарушению процессов терморегуляции организма, снижению уровня естественной резистентности и, как следствие, наступало снижение прироста массы тела у телят на 13,0- 22,5%, удоев коров – на 17 %.

В опытах, проведенных на коровах черно-пестрой породы, установлено, что зона комфорта для них находится в температурном диапазоне 5,0-10⁰С. Значительное влияние на организм животных оказывают высокие температуры воздуха. Так, при температуре воздуха 25⁰С, по сравнению с зоной теплового комфорта, потребление кислорода и теплопродукция увеличиваются в 1,3 раза, при 35⁰С – в 1,6 раза (P<0,001), частота дыхания в 3, а легочная вентиляция – в 2 раза. Действие высокой температуры среды сопровождается увеличением легочной вентиляции, при уменьшении глубины дыхания, причем частота дыхания увеличивалась в большей степени, чем легочная вентиляция.

Высокая температура и низкая подвижность воздуха в зоне нахождения животных способствовали

нарушению процессов терморегуляции организма. Снижался уровень естественной резистентности и, как следствие, прирост массы тела у телят на 13,0-22,5%, удои коров – на 17,0%.

Известно, что при высоких температурах воздуха основным источником теплоотдачи является потоотделение и испарение влаги с дыхательных путей, так как при приближении температуры окружающей среды к температуре кожи животных отдача радиацией практически прекращается. При повышении температуры окружающей среды на 20,0⁰С, по сравнению с зоной теплового комфорта, потоотделение у коров увеличивалось более чем в 3, а у телят – 2 раза.

Положительное влияние на нормализацию процессов терморегуляции при высоких температурах оказывает повышение скорости подвижности воздуха в зоне размещения животных с 0,1-0,3 до 0,5-1,0 м/с. При этом охлаждающая способность воздуха увеличивалась в 2-4 раза.

Поддержание в животноводческих помещениях оптимального микроклимата обеспечивало повышение среднесуточного прироста живой массы тела у телят – на 7,3-14,7%, среднесуточного удоя на корову – 7,3-13,0%, сокращались расходы корма на производство единицы продукции.

По окончании физиологических опытов нами были разработаны требования к поддержанию определенных параметров микроклимата для всех возрастных групп животных, а также режим кормления и содержания в помещениях и на выгульно-кормовых площадках.

Заключение. Исследования показали, что для разведения крупного рогатого скота черно-пестрой породы заводимых в зоны сухих субтропиков необходимо создавать такие же комфортные условия окружающей среды, в которых они были выведены. Эти требования в полной мере относятся и для телят, родившихся в новых климатических условиях от этих коров.

Литература

1. **Белкин Б.Л.** Гигиена содержания телят в промышленных комплексах зоны сухих субтропиков. / Б.Л. Белкин // Тез. докл. Международного конгресса по зоогигиене. Вена, 1980.
2. **Белкин Б.Л.** Гигиена содержания коров в жаркий период года в зоне сухих субтропиков. / Б.Л. Белкин // Тез. докл. 6 международного конгресса по зоогигиене, Высокие Татры (Чехословакия), 1982, С. 44.
3. **Белкин Б. Л.** Особенности гигиены содержания молочного скота на комплексах и фермах зоны сухих субтропиков. / Б.Л. Белкин // Материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию МВА.,1990
4. **Белкин Б.Л.** Влияние микроклимата на физиологические функции телят черно-пестрой породы. *Ветеринария*. 1988; 7.
5. **Белкин Б.Л.** Влияние микроклимата на физиологические функции телят с 3 до 6-месячного возраста. *Доклады РАСХН*. 1999; 5:29-30.
6. **Рузиев Ш.М., Белкин Б.Л.** Гигиена содержания крупного рогатого скота в зоне жаркого климата. *Ветеринария*. 1982; 6:21-22.

Поступление в редакцию: 15.03.2018 г.

Белкин Борис Леонидович, доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия; 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, 69, 8(4862) 76-41-06, e-mail: boris.belkin39@mail.ru

Мурленков Н.В., Морозова Е.С., аспиранты 1 курса
Шендаков А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Абрамкова Н.В., кандидат биологических наук, доцент
Murlenkov N.V., Morozova E.S., First-year Post-graduate students
Shendakov A.I., Doctor of Agricultural Sciences, professor
Abramkova N.V., Candidate of Biological Sciences, associate professor
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия
Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education
"Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", Orel, Russia
e-mail: chr98@yandex.ru

**ОПТИМАЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РОСТА РОГОВ У ТЕЛЯТ
ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДЕКОРНАЦИИ**
(Optimal age of preventing growth of horns in calves by the chemical method of decornuatio)

Из-за неправильной организации интенсификация скотоводства на сельхозпредприятиях может привести к возникновению множества проблем, прежде всего, в вопросе содержания скота, что усложняет производственный процесс и ведет к нежелательным убыткам. При решении проблем, связанных с содержанием и кормлением больших групп животных, большое значение имеют мероприятия по обезроживанию. Цель исследования заключалась в том, чтобы определить оптимальный возраст декорнуации молодняка черно-пестрой породы при использовании мази «Хромос АР».

В статье рассмотрен химический способ декорнуации при помощи мази «Хромос АР» у молодняка крупного рогатого скота в разные периоды роста. Исследования были проведены в производственных условиях ООО «Маслово» Орловской области. Объектом исследования являлись телята черно-пестрой породы в возрасте 30, 45 и 60 дней. Эксперимент показал, что оптимальный возраст удаления рогов при помощи исследуемого препарата наиболее эффективен в первые 4 недели роста.

Ключевые слова: декорнуация, молочные телята, Хромос АР.

Введение. Создание крупных комплексов с высоким уровнем механизации предполагает большую концентрацию животных на ограниченных площадях. Такой массовый переход на беспривязное содержание больших стад требует нового подхода к планированию и оборудованию помещений, производственного процесса и группирование животных.

Из-за неправильной организации интенсификация скотоводства на сельхозпредприятиях может привести к возникновению множества проблем, прежде всего, в вопросе содержания скота, что усложняет производственный процесс и ведет к нежелательным убыткам [4]. При решении проблем, связанных с содержанием и кормлением больших групп животных, большое значение имеют мероприятия по обезроживанию (декорнуации).

Основной целью обезроживания является профилактика травматизма при групповом содержании животных. Комолые животные более спокойны, лучше поедают корм, не наносят друг другу травм и об-

With the wrong organization, intensification of cattle breeding at agricultural enterprises can lead to many problems, first of all, in the question of livestock, which complicates the production process and leads to undesirable losses. When solving problems related to the maintenance and feeding of large groups of animals, activities for decornuatio are of great importance. The aim of the study was to determine the optimal age for decorating young animals of black and motley breed using the "Chromos AR" ointment.

The article deals with the chemical method of decornuatio using "Chromos AR" ointment in young cattle at different growth periods. The study was conducted under production conditions, LLC "Maslovo" Orel region. The object of the study were calves of black and motley breed at the age of 30, 45 and 60 days. The experiment showed that the optimal age for removing horns with the test ointment is most effective in the first 4 weeks of growth.

Key words: decornuatio, dairy calves, Chromos AR.

служивающему их персоналу. Предупреждают рогообразование тремя способами: термическим, химическим и хирургическим [5]. Термическое удаление предполагает применение газовых роговыжигателей и электротермокаутеров различных по мощности. Хирургический метод требует применения специальных пил и обсечек, для выжигания химическим путем используют специализированные ветеринарные пасты или мази, щелочи или кислоты (едкий калий или натрий, азотную или соляную кислоту, жидкий азот). Декорнуацию лучше всего проводить животным до двухмесячного возраста, однако следует учитывать, что возраст играет решающую роль по выбору и использованию того или иного метода по предотвращению роста рогов [1, 3, 6]. Поэтому именно выбор и применение ресурсосберегающего и безопасного метода декорнуации является актуальной задачей в ветеринарной и зоотехнической работе.

В рамках данной статьи будет рассмотрен конкретный метод обезроживания – химический, при

помощи мази «Хромос AP». Выбор данного метода декорнуации связан со следующими особенностями.

Во-первых, при правильном применении отсутствует возможность нагноений и заражений, во-вторых, метод совершенно бескровный и может проводиться не только ветеринарами, но и простыми сотрудниками и животноводами. Пожалуй, главный недостаток химического метода заключается в том, что использовать его можно только в течение короткого промежутка времени, а если применить его позже или неправильно нанести средство, это может привести к росту деформированных рогов.

В связи с этим целью исследования являлось определение оптимального возраста удаления рогов при помощи мази «Хромос AP».

Исследуемое лекарственное средство выпускается в форме пасты. В качестве действующих веществ препарат содержит комплексообразующие щелочи, а в качестве вспомогательных веществ: целит 545, краситель, пластификатор, воду дистиллированную. Гидроксид натрия и гидроксид кальция, входящие в состав мази, оказывают сильное местное прижигающее действие. При применении «Хромоса AP» под действием щелочей происходит коагуляция белков и по-

вреждение точки роста рогов, вплоть до ее разрушения, что приводит к полному прекращению рогообразования у молодняка крупного рогатого скота. По степени воздействия на организм относится к малоопасным веществам (4 класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76) [2].

Материалы и методы исследований

Исследования были проведены в производственных условиях ООО «Маслово» Орловской области. Объектом исследования являлись телята чернопестрой породы. По принципу аналогов было сформировано 3 группы телят по 5 голов в каждой. Основываясь на инструкции по применению препарата, указанной производителем, мазь «Хромос AP» использовали на телятах в 30, 45 и 60 дневном возрасте.

У животных перед нанесением средства предварительно удаляли волосяной покров в местах, где прощупывается роговой бугорок, и после этого тонким слоем наносили «Хромос AP» на вершину бугорка и поверхность кожного покрова вокруг него (см. рис. 1).



Рис. 1 – Удаление волосяного покрова и нанесение мази.

Молодняку в 30 дневном и 1,5 месячном возрасте лекарственное средство наносили так, чтобы диаметр обработанной поверхности был не более 20-24 мм. Животным 2 месячного возраста очищали от волосяного покрова участки роста рогов на расстоянии 10 мм от основания рога, затем наносили тонким слоем пасту на вершину рога и более толстым слоем вокруг его основания.

По прошествии недели определяли эффективность используемого препарата путем предварительного осмотра и ощупывания поверхности, на которую была нанесена мазь.

Результаты и их обсуждение.

Опыт показал, что у всех телят в 30 дневном возрасте (1 опытная группа) через неделю после нанесения мази образовался роговой струп серого цвета, рост грануляционной ткани был равномерный, без нагноений, экзастозов не наблюдалось, что говорит об успешном применении препарата. У телят в возрасте

45 дней (2 опытная группа) наблюдалась аналогичная клиническая картина, однако у двух из пяти животных рогоподобные наросты все еще регистрировались. У животных в возрасте 60 дней (3 опытная группа) мазь не оказала необходимого эффекта – ни у одного из телят образование рогового струпа зафиксированного не было, однако на деформацию рогового бугорка мазь влияния не оказала.

Выводы.

Таким образом, по результатам научно-хозяйственного опыта можно сделать вывод, что химический метод декорнуации с помощью мази «Хромос AP» был наиболее эффективен для телят первой опытной группы. В связи с этим, для прекращения роста рогов предлагаем применять данную мазь для молодняка крупного рогатого скота в 30 дневном возрасте.

Литература

1. **Веремей Э., Руколь В., Журба В.** Рога теперь «не носят». *Животноводство России*. 2015; 4: 51-54.
2. **Инструкция** по применению «Хромос AP» для предупреждения роста рогов у молодняка крупного и мелкого рогатого скота [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://biohimfarm.ru/drugie_r/prochie/hromos-ar/
3. **Мовчан И.О., Ермолаев В.А.** Декорнуация – метод профилактики травматизма у животных. *Саратов: Изд-во ООО "Научно-издательский центр "Академия Естествознания"*. 2015: 38-41.
4. **Руколь В.М., Анашкин Е.Е.** Оптимальный возраст предупреждения роста рогов у телят и декорнуации животных. *Барнаул: Изд-во Алтайский государственный университет*. 2014: 302-303.
5. **Руколь В.М.** Способы предупреждения роста рогов у телят в условиях промышленных технологий. *Международный вестник ветеринарии*. 2011; 2: 21-24.
6. **Фаткудинова Ю.В., Шишков Н.К., Шаронина Н.В., Мухитов А.З.** Ампутация рогов у коров. *Международный студенческий научный вестник*. 2016; 4-3: 341-342.

Поступление в редакцию: 15.03.2018 г.

Мурленков Никита Вячеславович, Морозова Екатерина Сергеевна, аспиранты 1 курса, **Шендаков Андрей Игоревич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, **Абрамкова Наталья Валерьевна**, кандидат биологических наук, доцент ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия; 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, 69, 8(4862) 76-41-06, e-mail: chr98@yandex.ru

Крюков В.И., доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет
им. Н.В. Парахина», Россия, г. Орёл
тел. 8 (4862) 47 51 71, e-mail: iniic@mail.ru

V.I. Kriukov, doctor of biological sciences, professor
Orel state agrarian university, Russia, Orel

**ИНДУКЦИЯ МИКРОЯДЕР В ЭРИТРОЦИТАХ КАРПА
ПРИ СОЧЕТАННОМ ДЕЙСТВИИ ИОНОВ МЕДИ
И НИЗКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**
(The simultaneous action of the copper ions and a low-frequency electromagnetic field induces micronuclei
in the carp erythrocytes)

Исследовали частоту возникновения микроядер и других ядерных нарушений в эритроцитах годовиков карпа после суточного и одновременного воздействия на рыб двух факторов: низкочастотного электромагнитного поля напряжённостью от 25 до 400 А/м и ионов меди в различных концентрациях (от 0,5 до 8 мг/л. Сочетания действующих факторов были следующими: 0+0, (контроль); 0,5+ 25; 1,0+ 50; 2,0+ 100; 4,0+ 200; 5,0+ 250 и 8,0+400. Частоты клеток с микроядрами в указанных 7 вариантах были равны (%) 0,47 (контроль), 0,39, 0,41, 0,43, 0,41, 0,34, 0,18. Суммарные частоты анализируемых аномалий (клетки с микроядрами + двуядерные клетки + клетки в стадии амитоза + клетки с пузырящимися ядрами + клетки с лопастными ядрами + клетки с зазубренными ядрами) были равны (%) 0,75, 0,87, 0,84, 0,93, 0,87, 0,98, 0,68. При сочетанном действии на годовиков карпа ионов меди и электромагнитного поля частотой 50 Гц суммарные частоты возникающих ядерных аномалий меньше частот, индуцируемых каждым из факторов при его индивидуальном воздействии на рыб. Рассмотрены возможные механизмы взаимодействия двух мутагенных факторов.

Ключевые слова: низкочастотное электромагнитное поле, ионы меди, сочетанное действие двух факторов, частота микроядер, аномалии ядер, эритроциты рыбы

Введение. Последствия антропогенного загрязнения биосферы являются одной из важнейших проблем экологии и экологической генетики. Одним из приоритетных классов химических загрязнений окружающей среды являются соединения тяжёлых металлов, попадающие в окружающую среду в результате деятельности промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий. К тяжёлым металлам относят группу химических элементов со свойствами металлов (атомным весом более 50 и плотностью более 5 г/см³), различные соединения которых при определённых концентрациях становятся вредоносными для биоты и становятся загрязнителями окружающей среды. Медь – один из тяжёлых металлов. Она является биоорганическим элементом и в микроколиче-

The frequency of the micronuclei and other nuclear anomalies in the carp erythrocytes was studied after a 24-hour simultaneous exposure to a ELF EMF (50 Hz) and various concentrations of copper ions in the water. The concentration of the copper ions (0-8 mg/l) and the intensity of the ELF EMF (0-400A / m) in 7 variants of the experiment were as follows: 0 + 0, (control); 0.5, + 25; 1.0 + 50; 2.0 + 100; 4.0 + 200; 5.0 +250 and 8.0 + 400. The frequencies of the cells with micronuclei in the indicated 7 variants were equal (%): 0.47, 0.39, 0.41, 0.43, 0.41, 0.34, 0.18. The total frequencies of the analyzed anomalies (cell with micronuclei + binuclear cells + cells in the amitose stage + cells with blebbed nuclei + cells with lobed nuclei + cells with notched nuclei) were equal (%) 0.75, 0.87, 0.84, 0.93, 0.87, 0.98, 0.68. The total frequencies of the nuclear anomalies were less with the simultaneous action of copper ions and the ELF EMF on the carp, than the frequencies induced by each of the factors upon its individual effect on fish. The possible mechanisms of interaction of these two mutagenic factors are considered.

Keywords: low-frequency electromagnetic field, copper ions, simultaneous action of two factors, the frequency of micronuclei, nuclear anomalies, fish erythrocytes.

ствах необходима многим организмам, т.к. входит в состав некоторых белков. Однако избыточные концентрации ионов меди в среде обитания приводят к её аккумуляции в организмах и становятся токсическим фактором, негативно влияющим на их развитие [19]. Сульфат меди CuSO₄×5H₂O используется в сельском хозяйстве как неорганический пестицид и широко применяется в качестве фунгицида, моллюскоцида и гербицида.

Помимо токсических свойств у меди обнаружены мутагенные свойства, но сведения о них неполны и несколько противоречивы [см.: 49, с. 76, 79]. Для выяснения мутагенных характеристик меди необходимы дальнейшие исследования с использованием объектов различного уровня эволюционной организации и различных таксономических групп. Подобные работы очень важны для понимания возможных последствий антропо-

генного загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами.

Другим фактором, вызывающим тревогу у медиков и экологов является всё более возрастающий уровень загрязнения биосферы неионизирующими электромагнитными излучениями. Проблемы влияния электромагнитных полей различных частот на живые организмы интенсивно изучают и медики, и биологи. В этих вопросах также много неясных и противоречащих друг другу фактов, однако существование различных откликов живых организмов на воздействие электромагнитных полей (далее сокращённо – ЭМП) различных частот является неоспоримым. Самостоятельный интерес представляет действие низкочастотных электромагнитных полей (НЧ ЭМП), т.к. переменный ток именно такой частоты (50 и 60 Гц) применяют для энергообеспечения промышленного и бытового электрооборудования.

Установлено влияние НЧ ЭМП на продолжительность развития и формирование морфологических структур у насекомых [47]. Большинство результатов медицинских исследований указывают на возможную связь между воздействием НЧ ЭМП и клинически признанными медицинскими расстройствами у людей, такими, как лейкемия, раковые заболевания мозга, молочной железы, почек, сердечно-сосудистые заболевания [51, 20]. В зоотехнии и ветеринарии эти исследования пока остаются очень малочисленными. Поэтому необходимо дальнейшее изучение реакций живых организмов разного уровня эволюционной организации на действие ЭМП.

Наконец, многие антропогенные факторы действуют на живые организмы одновременно. При этом возможны различные варианты такого одновременного воздействия – как ингибирование действия одного фактора действием другого, так и си-

нергидный, усиливающий эффект, в результате которого результат одновременного воздействия двух факторов оказывается больше простой суммы эффектов этих факторов, действующих по одному, изолированно друг от друга. В таких случаях среда, характеризующаяся по каждому отдельному фактору ниже санитарно-гигиенических стандартов, может оказываться опасной для обитания из-за совместного синергидного действия нескольких факторов.

Одновременное действие на организм химического агента и физического фактора вызывают сочетанным действием факторов. В данной работе приведены результаты экспериментального исследования сочетанного действия на рыб различных концентраций ионов меди в воде и ЭМП промышленной частоты и различной напряжённости.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследования служили рандомбредные годовалые карпы (*Cyprinus carpio*) массой 20-25 г., приобретённые в рыбхозе Орловской области. Подготовка рыб к эксперименту описана ранее [6, 7]. После трёхсуточной адаптации к лабораторным условиям рыбы были разделены на три группы. Рыб первой группы в течение 24 часов подвергали воздействию ионов меди шести различных концентраций: 0,5, 1, 2, 4, 5, 8 мг/л. Для исследования использовали сульфат меди ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$) квалификации «х.ч.». Методы воздействия ионов меди на рыб описаны в предыдущем сообщении [7]. Рыбы второй группы были подвергнуты точному воздействию переменного НЧ ЭМП промышленной частоты (50 Гц) и напряжённостью 25, 50, 100, 200, 250 и 400 А/м. Аппаратура и методика проведения воздействия на рыб НЧ ЭМП описана ранее [6]. Рыбы третьей группы были подвергнуты одновременному (сочетанному) воздействию ионов меди и НЧ ЭМП в сочетаниях, указанных в табл. 1.

Таблица 1. – Варианты сочетанного действия на рыб различных концентраций меди и переменного низкочастотного электромагнитного поля (50 Гц)

Номер экспериментальной подгруппы	0 (К)	1	2	3	4	5	6
Концентрация Cu^{+2} , мг/л	0	0,5	1	2	4	5	8
Напряжённость магнитного поля, А/м	0	25	50	100	200	250	400

Варианты с одновременным воздействием на рыб ионов меди и электромагнитного поля выполняли по той же схеме, что и анализ действия только одного электромагнитного поля, но вместо чистой воды использовали опытные растворы сульфата меди. Контролем служили рыбы, не подвергнутые действию исследуемых факторов.

Методы приготовления мазков крови и микроскопического анализа препаратов описаны в упомянутых ранее публикациях [6, 7]. В мазках крови при просмотре эритроцитов определяли число нормальных клеток и клеток, содержащих аномалии ядра и микроядра.

Каждый вариант опытного воздействия выполняли в двух повторностях с 4 рыбами в каждой. Микроско-

пическому анализу подвергали мазки трёх рыб из четырёх в каждой повторности, т.е. в каждом варианте воздействия факторов проанализированы эритроциты 6 рыб. Для каждой из них исследовали не менее 3000 эритроцитов. Таким образом, частоту ядерных аномалий в эритроцитах в каждом из вариантов опытов рассчитывали по результатам анализа не менее 18000 клеток.

Статистический анализ достоверности различий частот микроядер и других ядерных аномалий между контролем и различными вариантами опыта определяли после ϕ -преобразования частот аномалий [12]. Все расчёты были выполнены в программе Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования индукции микроядер у карпов после суточного воздействия только переменного электромагнитного поля различной напряжённости и только ионов меди в различных концентрациях [6, 7] были опубликованы ранее.

Как и НЧ ЭМП, медь в высоких концентрациях способна вызывать мутации. При фоновых концентрациях в окружающей среде медь играет важную роль в жизни растений и животных, т.к. входит в состав многих белков и более 20 ферментов и поэтому

играет важную роль в метаболизме живых организмов. Мутации генов, кодирующих белки, участвующие в трансмембранном переносе меди, могут приводить к серьёзным наследственным заболеваниям у человека (болезни Менкеса и Вильсона-Коновалова) [41, 52].

Полученные суммарные данные по каждому варианту сочетанного действия ионов меди и НЧ ЭМП приведены в таблице 2. Эти сведения были использованы для расчёта частот выявленных аномалий. Результаты расчётов рассмотрены ниже.

Таблица 2. – Результаты микроскопического анализа эритроцитов карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций ионов меди и низкочастотного (50 Гц) электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Всего изучено клеток	В том числе клеток						
			нормальных	с микроядрами	двоядерных	в стадии амитоза	с ядрами blebbed	с ядрами lobed	с ядрами notched
Контроль ¹		19813	19664	94	16	12	1	4	22
0,5	25	19012	18847	75	20	25	9	10	26
1,0	50	18611	18454	76	18	17	7	11	28
2,0	100	19823	19639	85	23	16	12	11	37
4,0	200	18663	18500	77	19	9	14	7	37
5,0	250	18892	18706	65	12	19	26	18	46
8,0	400	18743	18615	34	5	7	24	17	41

Примечание¹ – В качестве контроля используются результаты контрольного варианта из одновременно проведённого опыта по генотоксичности ионов меди.

Частота микроядер. Микроядра являются очень мелкими фрагментами хроматинового материала, которые образуются из делетированных фрагментов хромосом. Лишённые центромер, при делении клетки они не попадают в ядра дочерних клеток и остаются в цитоплазме. Многочисленными исследо-

ваниями доказано, что частота микроядер в клетках пропорциональна силе воздействия мутагенного фактора на исследуемый организм. Анализ микроядер в крови рыб широко используют для исследований экспериментального мутагенеза и для генетического мониторинга антропогенного загрязнения среды [29, 45].

Таблица 3. – Частота эритроцитов с микроядрами у карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций меди и электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Частота, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина φ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,47	0,05	0,10	0,1379		
0,5	25	0,39	0,05	0,09	0,1257	1,1986	>0,05
1,0	50	0,41	0,05	0,09	0,1279	0,9771	>0,05
2,0	100	0,43	0,05	0,09	0,1311	0,6778	>0,05
4,0	200	0,41	0,05	0,09	0,1286	0,9131	>0,05
5,0	250	0,34	0,04	0,08	0,1174	2,0147	<0,05
8,0	400	0,18	0,03	0,06	0,0852	5,1680	<0,001

Частота эритроцитов с микроядрами в контроле составляла $0,47 \pm 0,10\%$ (табл. 3). Действие в течение суток ионов меди и электромагнитного поля в диапазоне сочетаний от (0,5 мг/л + 25 А/ч) до (4,0 мг/л + 200 А/ч) несколько уменьшали частоты клеток с мик-

роядрами, однако это изменение было статистически недостоверным. Следующее суточное сочетанное действие этих двух факторов (5,0 мг/л + 250 А/ч) вызвало статистически достоверное снижение частоты клеток с микроядрами при $P < 0,05$. Дальнейшее уве-

личение напряжённости электромагнитного поля и концентрации ионов меди в воде приводило к ещё более значительному снижению частоты эритроцитов с микроядрами. При этом различия между частотами опытного варианта по сравнению с контролем становились достоверными при $P < 0,001$.

Таким образом, в двух последних вариантах сочетания исследуемых факторов (4,0 мг/л + 200 А/ч и (8,0 мг/л + 400 А/ч) частота микроядер оказалась статистически достоверно ниже контрольной. Известно, что ионы металлов способны связываться с тиольными группами белков и нарушать процесс формирования веретена деления в клетках [48]. Возможно, что снижение частоты клеток с микроядрами происходила из-за подавления митотической активности кроветворных клеток высокими концентрациями ионов меди в сочетании с негативным воздействием сильного электромагнитного поля. Прекращение пролифера-

ции клеток не позволяло реализовываться абберациям, индуцируемым медью. Косвенным же подтверждением предположения о подавлении электромагнитным полем митотической активности в клетках рыб можно рассматривать ранее обнаруженную задержку митозов на 0,5-2,0 ч у плесневого гриба *Physarum polycephalum* при воздействии электромагнитного поля низкой частоты (45, 60 и 75 Гц). Прекращение воздействия магнитного поля на *Ph. polycephalum* приводило к восстановлению нормального митоза через 40 дней [27, 40].

Частота двуядерных клеток. Частота двуядерных клеток у интактных рыб (в контроле) была равна 0,08% (табл. 4). В первых пяти вариантах сочетанного действия ионов меди и электромагнитного поля частота двуядерных клеток незначительно возрастала, но отличия от контрольной частоты оставались статистически недостоверными.

Таблица 4. – Частота двуядерных клеток у карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций меди и электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Частота, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина φ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,08	0,02	0,04	0,0568	–	
0,5	25	0,11	0,02	0,05	0,0649	0,7916	>0,05
1,0	50	0,10	0,02	0,04	0,0622	0,5257	>0,05
2,0	100	0,12	0,02	0,05	0,0681	1,1245	>0,05
4,0	200	0,10	0,02	0,05	0,0638	0,6845	>0,05
5,0	250	0,06	0,02	0,04	0,0504	0,6324	>0,05
8,0	400	0,03	0,01	0,02	0,0327	2,3726	<0,05

Заметное и статистически достоверное снижение частоты двуядерных клеток наблюдалось только в последнем варианте сочетания факторов (8 мг/л меди и 400 А/м НЧ ЭМП). Снижение частоты двуядерных клеток, вероятно, происходит из-за существенного нарушения процессов, происходящих в карิโอплазме в результате воздействия исследуемых факторов.

Частота амитотически делящихся клеток. Частота амитозов в эритроцитах рыб из контрольного варианта составляла $0,06 \pm 0,03\%$ (табл. 5). Сочетанное действие ионов меди в концентрации, равной 0,5 ПДК (0,5 мг/л), и электромагнитного поля напряжённостью 25А/м вызывали двукратное и статистически достоверное (при $P < 0,05$) увеличение частоты амитотических клеток.

Таблица 5. – Частота амитозов у карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций меди и электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Частота, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина φ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,06	0,02	0,03	0,0492	–	
0,5	25	0,13	0,03	0,05	0,0725	2,2965	<0,05
1,0	50	0,09	0,02	0,04	0,0605	1,1001	>0,05
2,0	100	0,08	0,02	0,04	0,0568	0,7568	>0,05
4,0	200	0,05	0,02	0,03	0,0439	0,5198	>0,05
5,0	250	0,10	0,02	0,05	0,0634	1,3975	>0,05
8,0	400	0,04	0,01	0,03	0,0387	1,0376	>0,05

В варианте с концентрацией меди 1,0 мг/л в сочетании с действием электромагнитного поля напряжённостью 50 А/м обнаружено понижение частоты

амитозов, обусловленное, вероятно, нарушением процессов происходящих в карิโอплазме. Дальнейший рост концентрации меди в сочетании с воздействием

электромагнитного поля более высоких напряжённостей не приводил к достоверным изменениям частот амитозов.

На основании полученных данных можно предположить, что сочетанное действие меди и электромагнитного поля не оказывает очень заметного влияния на частоту формирования амитотически делящихся кроветворных клеток.

Частота клеток с пузыряющимися ядрами. К эритроцитам с пузыряющимися (blebbed, BL) ядрами

относят аномальные клетки, ядра которых имеют одно или, чаще, несколько небольших, содержащих хроматин выпячиваний ядерной оболочки. В контрольном варианте у рыб частота клеток с пузыряющимися ядрами чрезвычайно мала (0,01%; табл. 6). Даже минимальное из исследованных сочетанное действие меди (0,5 мг/л) и электромагнитного поля (25 А/м) вызывало статистически достоверное увеличение частоты этих нарушений при $P < 0,01$.

Таблица 6. – Частота эритроцитов с пузыряющимися ядрами (blebbed nuclei) у карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций меди и электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Частота, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина φ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,01	0,01	0,01	0,0142	–	
0,5	25	0,05	0,02	0,03	0,0435	2,8870	<0,01
1,0	50	0,04	0,01	0,03	0,0388	2,4080	<0,01
2,0	100	0,06	0,02	0,03	0,0492	3,4845	<0,001
4,0	200	0,08	0,02	0,04	0,0548	3,9777	<0,001
5,0	250	0,14	0,03	0,05	0,0742	5,9008	<0,001
8,0	400	0,13	0,03	0,05	0,0716	5,6307	<0,001

Большие концентрации меди в сочетании с более высокими напряжённостями электромагнитного поля приводили к росту частот клеток с пузыряющимися ядрами. Эти частоты статистически достоверно отличались от контрольного значения при $P < 0,001$. Образование пузыряющихся ядер, вероятно, обусловлено нарушением структуры ядерной оболочки и образующих эту оболочку мембран.

Частота клеток с лопастными ядрами. Лопастными (lobed, LB) ядрами принято называть ядра с выпячиваниями большого размера, которые, в свою очередь, могли нести одно или несколько выпячиваний («лепестков») меньшего размера. Клетки с лопастными ядрами в контрольном варианте встречались с частотой 0,0002% (табл. 7). Вариант эксперимента с минимальной исследованной концентрацией ионов меди и минимальной напряжённостью ЭМП (0,5 мг/л

и 25 А/м, соответственно) не вызвали статистически достоверного изменения частот лопастных ядер в эритроцитах рыб. Повышение концентрации ионов меди и напряжённости электромагнитного поля вело к росту частоты клеток с лопастными ядрами во всех вариантах кроме одного. Исключением оказался вариант с концентрацией меди, равной 4,0 мг/л и напряжённостью ЭМП 200 А/м, в котором частота клеток с рассматриваемой аномалией оказалась ниже всех остальных опытных вариантов и статистически достоверно не отличалась от контрольной. Причины этого неожиданного снижения частот объяснить пока затруднительно. Во всех остальных опытных вариантах статистически достоверное повышение частот лопастных ядер может быть следствием нарушения структуры ядерной оболочки и составляющих её мембран.

Таблица 7. – Частота эритроцитов с лопастными ядрами (lobed nuclei) у карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций меди и электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Частота, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина φ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,02	0,01	0,02	0,0284	–	
0,5	25	0,05	0,02	0,03	0,0459	1,7192	$>0,05$
1,0	50	0,06	0,02	0,03	0,0486	1,9798	<0,05
2,0	100	0,06	0,02	0,03	0,0471	1,8614	<0,05
4,0	200	0,04	0,01	0,03	0,0387	1,0115	$>0,05$
5,0	250	0,10	0,02	0,04	0,0617	3,2773	<0,001
8,0	400	0,09	0,02	0,04	0,0602	3,1232	<0,01

Таким образом, анализ частот клеток с лопастными ядрами свидетельствует о том, что негативное действие ионов меди на структуру ядерной оболочки и составляющих её мембран усиливается одновременным воздействием электромагнитных полей промышленной частоты.

Частота клеток с notched ядрами. К зазубренным (notched, NT) ядрам относят такие ядра, у которых ядерная оболочка имеет остроконечную «вмяти-

ну». Сравнение частот этих аномалий в разных вариантах опыта показаны в табл. 8. Сочетания низких концентраций меди и малых напряжённостей ЭМП не вызывали статистически достоверных изменений частот зазубренных ядер. Начиная с варианта (2 мг/л меди + 100 А/м) различия в частотах «зазубренных» ядер статистически достоверно увеличивается. Это доказывает существенное влияние исследуемых факторов на структуру и функционирование ядра.

Таблица 8. – Частота эритроцитов (%) с зазубренными ядрами (notched nuclei) у карпов после суточного сочетанного воздействия шести различных концентраций меди и электромагнитного поля шести различных напряжённостей

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Частота, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина ϕ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,11	0,02	0,05	0,0667	–	
0,5	25	0,14	0,03	0,05	0,0740	0,7211	>0,05
1,0	50	0,15	0,03	0,06	0,0776	1,0715	>0,05
2,0	100	0,19	0,03	0,06	0,0864	1,9686	<0,05
4,0	200	0,20	0,03	0,06	0,0891	2,1982	<0,05
5,0	250	0,24	0,04	0,07	0,0987	3,1540	<0,01
8,0	400	0,22	0,03	0,07	0,0936	2,6418	<0,01

Суммарная частота клеток с аномалиями. Представляет интерес сравнение суммарных частот всех регистрируемых ядерных аномалий, обнаруженных в эритроцитах рыб каждого из шести вариантов эксперимента с частотой аномалий в контроле (табл. 9) и частотами аномалий при индивидуальном действии каждого из двух факторов (табл.10). Эти данные свидетельствуют, что при сочетанном действии возрастающих концентраций ионов меди и увеличивающейся напряжённости ЭМП вначале наблюдается некоторый рост суммарных частот ядерных аномалий,

достигающий максимума (0,0098) при концентрации меди 5 мг/л и напряжённости ЭМП 250 А/м. Однако при максимальных параметрах исследуемых факторов (8 мг/л Cu^{+2} +400 А/м ЭМП) происходит падение частоты ядерных аномалий по сравнению с частотой аномалий в контрольной группе рыб. Это снижение суммарной частоты аномалий происходит, вероятно, из-за сильной интоксикации клеток медью и резкого нарушения нормального метаболизма в клетке под действием двух сильно действующих факторов.

Таблица 9. – Сравнение с контролем суммарных частот всех аномалий при сочетанном действии различных концентраций меди и электромагнитного поля.

Концентрация ионов меди, мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м	Суммарная частота всех аномалий, p , %	Варианса, σ_p	Довер. интервал p при $P=0,05$, $\pm\sigma_p \cdot 1,96$	Величина ϕ	Критерий u	Уровни значимости, P
Контроль		0,75	0,06	0,12	0,1737		
0,5	25	0,87	0,07	0,13	0,1866	1,2738	>0,05
1,0	50	0,84	0,07	0,13	0,1840	1,0086	>0,05
2,0	100	0,93	0,07	0,13	0,1930	1,9241	>0,05
4,0	200	0,87	0,07	0,13	0,1872	1,3260	>0,05
5,0	250	0,98	0,07	0,14	0,1988	2,4701	<0,05
8,0	400	0,68	0,06	0,12	0,1655	0,8038	>0,01

Следует отметить, что во всех экспериментальных вариантах наблюдалось значительное варьирование в относительных количествах различных клеточных и ядерных аномалий. Даже в рамках одного экспериментального варианта одна особь могла продемонстрировать относительно высокий уровень клеток,

делящихся amitotически, и клеток с микроядрами, в то время как у другой рыбы эти нарушения встречались относительно редко, но значительно чаще обнаруживались клетки с пузырящимися и лопастными ядрами. Эти внутрипопуляционные различия в ответе

на действие ЭМП и солей тяжёлых металлов должно стать предметом отдельного исследования.

Наблюдаемые флуктуации суммарных частот ядерных аномалий могут быть результатом физиологических особенностей реакции отдельных особей на воздействие исследуемых факторов или же реакцией на какие-то не контролируемые факторы. По мнению Carrasco K.R. et al. [23], сложность интерпретации результатов заключается в том, что при достаточно высокой чувствительности микроядерного теста, сильная вариация частот затрудняет анализ реакции организмов на воздействие фактора. Вероятно, дальнейшие исследования потребуют более строго подхода к контролю побочных факторов, которые могли влиять на результаты анализа.

Результат одновременного воздействия на организм ионов меди и НЧ ЭМП может проявиться в 4 различных вариантах:

1) факторы имеют различные механизмы влияния на организм и поэтому вызывают различные отклики;

2) действующие факторы имеют одну мишень (или один механизм воздействия), но не взаимодействуют между собой, и поэтому происходит простое суммирование эффектов каждого из факторов;

3) действующие факторы проявляют эффект синергизма, при котором результат комбинированного действия двух анализируемых факторов больше суммы эффектов факторов, действующих индивидуально;

4) факторы проявляют эффект антагонизма, при котором результат комбинированного воздействия оказывается меньше суммы их эффектов при изолированном действии на организм.

Величину, отражающую разницу между частотой аномалий, индуцированной сочетанным воздействием двух факторов и суммарной величиной эффектов изолированного (независимого) действия факторов можно вычислить по формуле

$$\Delta_{\phi} = a_i - c_i - b + d,$$

где a_i – частота аномалий, регистрируемая при сочетанном воздействии i -той концентрации меди и ЭМП; b – частота аномалий, регистрируемая при изолированном воздействии только одного ЭМП (без воздействия ионов меди); c_i – частота аномалий, регистрируемая при воздействии i -той концентрации только ионов металла (без воздействия ЭМП); d – спонтанная частота возникновения аномалий в контрольном варианте (подробнее см. [5], раздел 2.5). Если итоговая величина окажется равной нулю, то при совместном воздействии двух факторов происходит простое суммирование их эффектов. Если величина Δ_{ϕ} окажется больше нуля, то происходит взаимное усиление действующих факторов, т.е. происходит их синергизм. Получение величины Δ_{ϕ} меньше нуля, свидетельствует об антагонизме взаимодействующих факторов.

Величины Δ_{ϕ} , рассчитанные с использованием ранее опубликованных результатов анализа мутагенности ионов меди и НЧ ЭМП [6, 7 приведены в табл. 10].

Таблица 10. – Суммарные частоты (%) ядерных аномалий в эритроцитах карпа при индивидуальных воздействиях различных концентраций ионов меди, низкочастотного электромагнитного поля различной напряжённости и при сочетанном действии этих двух факторов (величина Δ_{ϕ} , приведена под частотами сочетанного действия двух факторов и выделена жирным шрифтом)

Концентрация Cu ⁺² , мг/л	Напряжённость ЭМП, А/м						
	0	25	50	100	200	250	400
0	0,75	0,81	0,94	1,10	1,19	1,27	1,26
0,5	0,98	<u>0,87</u> -0,17					
1,0	0,92		<u>0,84</u> -0,27				
2,0	1,20			<u>0,93</u> -0,62			
4,0	1,17				<u>0,87</u> -0,74		
5,0	1,28					<u>0,98</u> -0,82	
8,0	1,37						<u>0,68</u> -1,20

Рост отрицательных значений Δ_{ϕ} от -0,17 (при сочетанном действии ионов меди в концентрации 0,5 мг/л и ЭМП напряжённостью 25 А/м) до -1,20 (при одновременном действии ионов меди в концентрации 8,0 мг/л и ЭМП напряжённостью 400 А/м) можно рассматривать как антагонизм двух взаимодействующих факторов. Однако ещё одним возможным объяснением снижения частот аномалий при одновременном действии двух исследуемых факторов может быть очень сильная интоксикация клеток крови, приводя-

щая к замедлению пролиферации кровяных клеток и как результат – снижение общей доли клеток с реализованными ядерными аномалиями.

Иные аномалии ядер и клеток. Помимо шести основных типов ядерных аномалий, которые учитывались во время анализа препаратов, был обнаружен ряд других клеточных и ядерных нарушений. Довольно часто на препаратах попадались клетки с повреждённой ядерной оболочкой и кариоплазмой, вытекшей в цитоплазму (рис. 1).

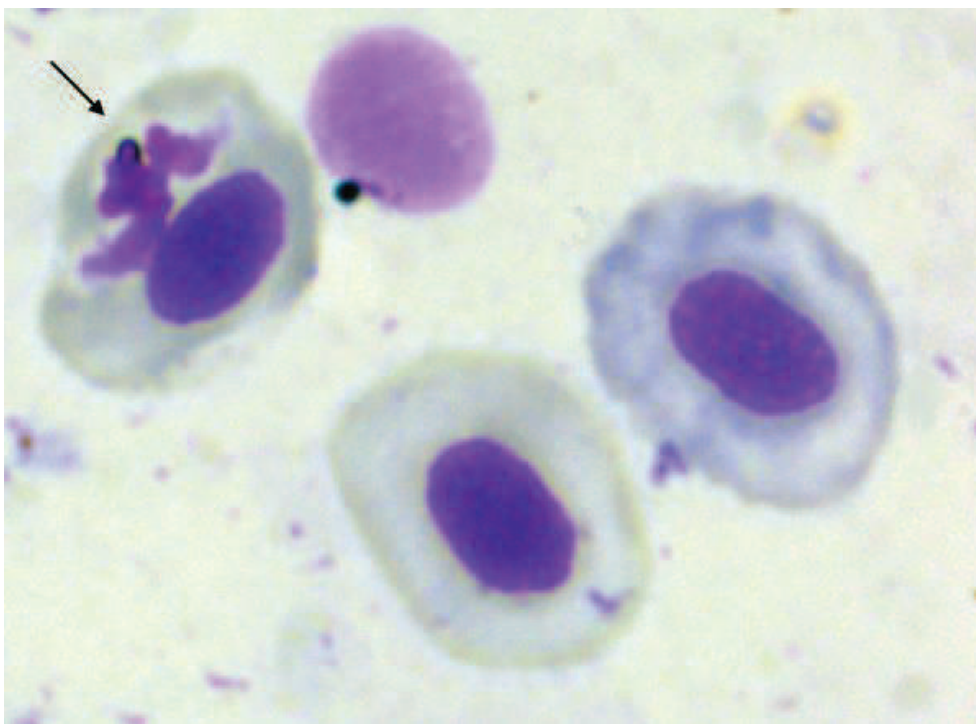


Рис. 1. Клетка с повреждённой ядерной оболочкой и кариоплазмой, вытекшей в цитоплазму

Часто встречались клетки, у которых были повреждены и ядерная оболочка, и клеточная мембрана. В этом случае наблюдали вытекание кариоплазмы в цитоплазму и истечение цитоплазмы за пределы клетки (рис. 2, а). Следующей, довольно часто встречающейся клеточной аномалией были

ядра, полностью лишённые цитоплазмы и клеточной мембраны. Вероятно, возникают они в результате истечения ядер из клеток через повреждения клеточной мембраны, формируемые в результате воздействия НЧ ЭМП и, возможно, ионов меди (рис. 2, б, в).



Рис. 2. Клетка с повреждёнными ядерной оболочкой и клеточной мембраной; кариоплазма и цитоплазма вытекают через повреждённые мембраны (а). Ядра клеток, лишённые клеточной мембраны и цитоплазмы (б).

Наконец, были обнаружены лишённые цитоплазмы и клеточной мембраны ядра, оболочка которых

была сильно повреждена и карิโอплазма истекала из этих брешей в ядерной оболочке (рис. 3)

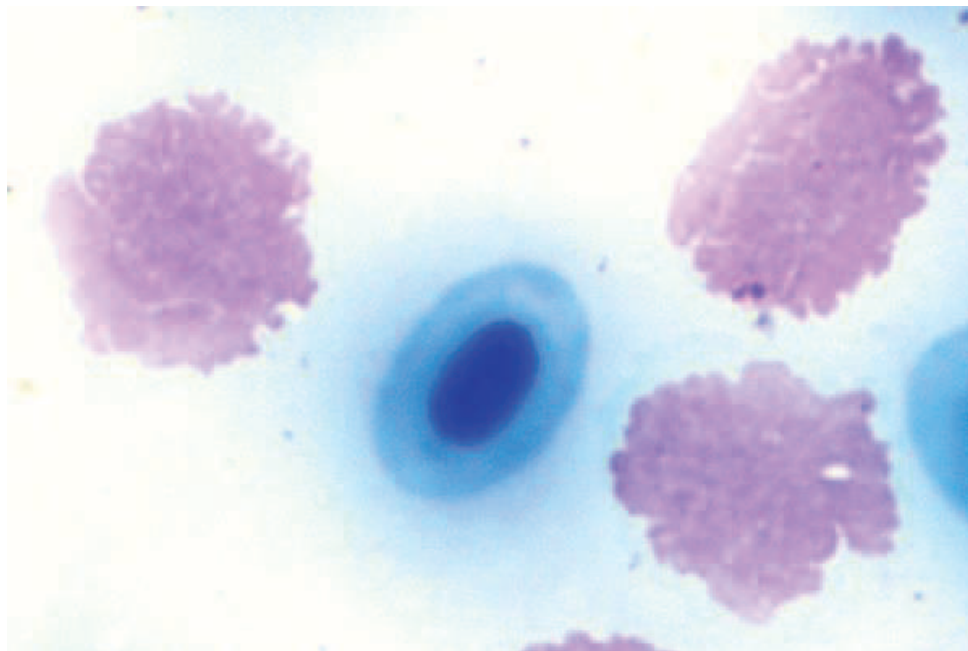


Рис. 3. Вытекающая через повреждения в оболочке карิโอплазма ядер, лишённых цитоплазмы и клеточной мембраны

В варианте сочетанного воздействия меди 2 мг/л и ЭМП 100 А/м наблюдали большое количество амитозов, а также клеток, размеры которых, а также размеры ядер в них были приблизительно

вдвое меньше размеров нормальных клеток и ядер, соответственно. Кроме того, наблюдали большое количество клеток, не содержащих ядра (4).

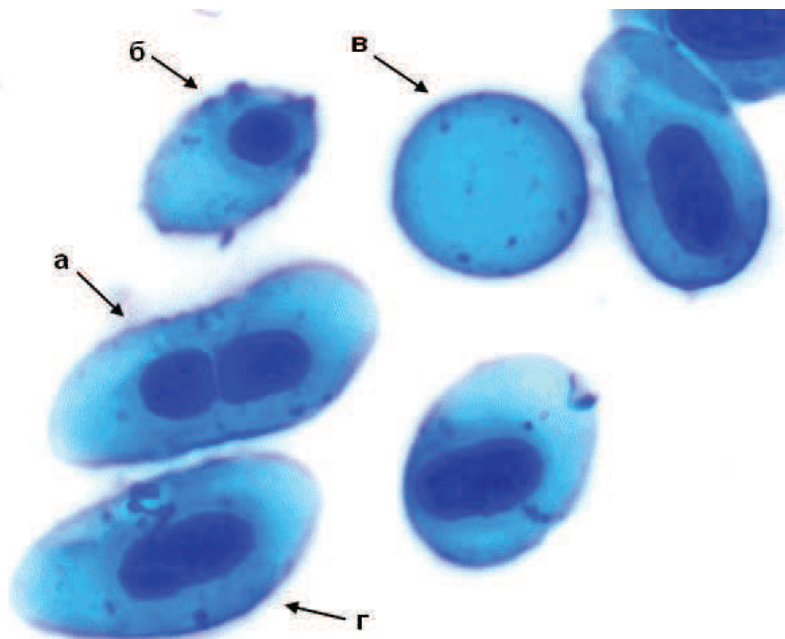


Рис. 4. Двухядерная клетка (а); клетка с ядром, размеры которых вдвое меньше аналогичных размеров нормальных клеток (б); безъядерная клетка (в); клетка с фрагментами ядерного материала, сохранившими связь с ядром

Результаты воздействия тяжёлых металлов на организмы рыб могут быть прослежены на молекулярном, генетическом, клеточном, тканевом [17] и более высоких уровнях организации этих животных.

Наблюдаемые нами нарушения косвенно подтверждают сложившееся у специалистов мнение, что низкочастотные ЭМП вызывают в клетке процессы, связанные с механизмами, происходящими в клеточной мембране. Это отличает их от ЭМП, частоты которых выше 1-10 МГц и которые, вероятно, индуцируют процессы, происходящие во внутриклеточном пространстве, а не в мембранах [54]. Поскольку проникновение ионов тяжёлых металлов в организм неизбежно связано с их миграцией через клеточные мембраны, состояние последних будет иметь решающее значение при сочетанном действии тяжёлых металлов и НЧ ЭМП.

Тяжёлые металлы могут проникать в организм рыб через слизистую оболочку кожи, жаберный и пищеварительный тракт [34], вызывая интоксикацию рыб, ведущую к снижению жизнеспособности. Большая часть тяжёлых металлов аккумулируется в печени, почках и жабрах [33]. Аккумуляция металлов в тканях у разных видов рыб зависит от проницаемости мембран их клеток, которая весьма различна у разных видов [36]. Значительное количество тяжёлых металлов накапливают гонады рыб, что отрицательно влияет на жизнеспособность гамет или оказывать непосредственное токсическое воздействие на половые клетки. Оболочка яйцеклеток не способна полностью защитить эмбрион от проникновения ионов металлов. Поэтому металлы могут накапливаться в икринках. На ранних этапах онтогенеза, сразу после оплодотворения, икра очень чувствительна к ионам тяжёлых металлов. Именно в этот период возникает большая часть морфологических нарушений [22] и наблюдается самая высокая эмбриональная смертность рыб. На более поздних стадиях эмбриогенеза ионы тяжёлых металлов индуцируют аномалии органогенеза, вызывая морфологические пороки развития, задержку вылупления и даже смерть уже вылупившихся личинок [31]. Обнаружены межвидовые различия в чувствительности рыб к ионам меди [37], а также алюминия [21], кадмия и кобальта [55]. Поэтому при анализе загрязнения водоёмов тяжёлыми металлами уровень опасности для рыб следует оценивать по самым чувствительным видам. Накопление тяжёлых металлов в тканях рыб чревато негативными последствиями для здоровья людей, особенно в тех регионах, население которых традиционно используют в пищу большие количества рыбы [15].

Для понимания возможных механизмов сочетанного действия НЧ ЭМП и меди следует рассмотреть уже известные генетические эффекты этих двух факторов.

Воздействие ионов меди в концентрации 0,8 мкмоль/л на икру карпа вызывало аномалии развития эмбрионов и их повышенную смертность. Аналогичные результаты получены при воздействии на икру карпа меди в концентрациях 0,01-0,20 мг/л [26, 30, 32, 53]. Хроническое действие меди приводило к снижению активности антиоксидантных ферментов и ферментов энергетического обмена у рыб. Тридцатидневное воздействие меди в концентрации 0,05 мкг/мл увеличило активность аспартат-трансаминазы, но снижало активность аланиновой трансаминазы. Пребывание карпов в течение 10 и 20 суток в воде, содержащей ионы меди в концентрации 1 мг/л вызывало повышение уровней глутатиона и каталазы. Содержание карпов в воде с медью в течение 4 суток (при концентрациях 0,1, 0,5, 1,0, 1,5 мкг/мл) и 30 дней (при концентрации 0,05 мкг/мл) приводило к снижению активности АТФазы во всех опытных вариантах [18, 25, 46]. Воздействие на развивающуюся икру низких концентраций меди (0,001 и 0,01 мг/л) снижало относительно контроля амилитическую активность в пищеварительном тракте годовиков плотвы на 13 и 36%, соответственно. Индивидуальное воздействие магнитного поля повышало амилитическую активность на 15% от контроля. В то же время при совместном действии этих факторов наблюдали снижение амилитической активности на 20-38% [1].

У сомов *Synodontis clarias* после 96-часовой экспозиции рыб в воде, содержащей 0,163 мг/л меди (0,25 от 96-часовой LC_{50} , равной 0,65 мг/л) наблюдали статистически достоверное увеличение частоты микроядер [44]. Мы обнаружили статистически достоверное увеличение частоты микроядер в эритроцитах годовиков карпа при их 24-часовой экспозиции в воде, содержащий различные концентрации ионов меди [7].

Амфибии реагируют на воздействие ионов меди аналогично рыбам. Так, после однократного внутривентриального введения взрослым лягушкам *Euphylyctis cyanophlyctis* сублетальных концентраций сульфата меди (3,5, 5,0, 6,5 и 8,0 мг/кг) было обнаружено значительное увеличение частоты микроядер по сравнению с контролем [35]. Авторы сделали вывод о существовании дозозависимого эффекта в индукции микроядер в соматических тканях лягушек из-за генотоксических и цитотоксических свойств меди.

Присутствие ионов тяжёлых металлов в тканях может вызывать окислительный стресс и увеличение концентрации активные формы кислорода путём индукции O_2 и его превращения в O_2^- (супероксид), H_2O_2 (пероксид водорода) и OH^- (гидроксильный радикал). Гидроксильный радикал способен реагировать со многими соединениями. Поэтому эти радикалы могут передавать энергию другим молекулам, включая жизненно важные, что может приводить к одинарным разрывам ДНК, разрывам её двойной цепи, возникновению микро-

ядер, сестринских хроматидных обменов и аберраций хромосом [43, 42, 50]. Вместе с тем, исследования последних лет свидетельствуют о том, что механизмы действия меди не столь однозначны. Л. Макомбер с сотрудниками [39] проанализировали возможность окислительного повреждения ДНК медью. Используя штаммы *Escherichia coli*, у которых были делетированы 3 гена, отвечающих за выведение меди из клетки, авторы провели учёт мутаций и количественный ПЦР-анализ повреждений ДНК. Было установлено, что медь уменьшала скорость повреждения ДНК перекисью водорода. Исходя из результатов исследования, был сделан вывод, что медь не катализирует окислительное повреждение ДНК *in vivo* и поэтому генотоксичность меди должна реализовываться с помощью другого механизма.

Ионы меди, находящиеся в биологических жидкостях, могут влиять на активность других органических биологически активных соединений. Например, ионы меди могут модифицировать окислительно-восстановительную активность гомоцистеина – вещества, вовлечённого в патологические процессы, связанные с окислительным стрессом. В зависимости от молярного отношения взаимодействующих гомоцистеина и Cu^{2+} Эти два вещества реагируют с образованием медных комплексов, которые могут способствовать либо антиоксидантным, либо прооксидантным действиям [24].

Воздействие электромагнитных полей (ЭМП) также связано с окислительным стрессом, который, в свою очередь, связан с активными формами кислорода, анемией и гипоксией. Активные формы кислорода (химически активные вещества, содержащие кислород: пероксиды, супероксиды, гидроксильные радикалы и синглетный кислород), являются факторами окислительного стресса, которые приводят к различным заболеваниям и расстройствам, таким как сердечно-сосудистые заболевания, рак, старение и различные нейродегенеративные заболевания. В *in vitro* исследованиях было показано, что при воздействии на кровь человека ЭМП (2 мТл и 50 Гц) присутствие возрастающих концентраций ионов свинца в плазме усиливает окислительное повреждение белков плазмы, а также конформационные изменения гемоглобина [16]. Аналогичные эксперименты с воздействием ионов меди, по-видимому, пока не опубликованы, однако можно предположить, что медь будет оказывать подобные же эффекты при совместном с ЭМП воздействии на организм.

К настоящему времени опубликовано довольно большое количество работ, освещающих результаты исследований эффектов воздействия электромагнитных полей на биологические системы.

ЭМП с определёнными физическими характеристиками имеют терапевтические эффекты и применяются в медицине и ветеринарии. ЭМП с другими характеристиками могут быть вреднос-

ными [9, 10, 14]. Примером таких полей могут быть экстремально низкочастотные магнитные поля, которые используют в электроприборах и электрооборудовании, связанных с производством, передачей и использованием электричества.

Воздействие низкочастотных электромагнитных полей на клетки водорослей и грибов использовали для стимуляции метаболических процессов и роста их клеток. Принимая во внимание модулирование переменным электромагнитным полем трансмембранного переноса веществ в клетку с одной стороны и необходимость очистки многих природных вод от тяжёлых металлов и других токсичных веществ – с другой, было высказано предположение о возможности использования технологии биоэнергетической стимуляции водорослей и грибов в качестве потенциального инструмента для биоремедиации путём стимуляции скорости поглощения различных загрязняющих компонентов из сточных вод [28].

Воздействие однородного синусоидального НЧ ЭМП (50 Гц, 0,25 мТ) на дрозофил в период эмбрионального и раннего постэмбрионального периодов онтогенеза вызывало статистически достоверное удлинение периода эмбрионального развития, а также существенно увеличивало размеры и асимметрию крыльев у имаго. Полученные результаты свидетельствуют, что даже такое слабое НЧ ЭМП может модулировать физиологические процессы и морфологические структуры у насекомых после воздействия всего на одно поколение [47]. Полученные данные представляют существенный интерес в связи с необходимостью дальнейшего развития пчеловодства. Для этой области сельскохозяйственного производства биологическая активность ЭМП может иметь очень большое значение. Исследования поведения пчёл в зоне влияния ЛЭП показали увеличение их агрессивности и беспокойства, снижения работоспособности, склонности к роению, потере маток [11]

Электромагнитные поля могут иметь большое значение в индустриальном рыбоводстве, особенно при выращивании рыб в установках замкнутого водоснабжения. Установлено, что даже слабые электромагнитные поля низкой частоты при действии на развивающуюся икру вызывают уменьшение живой массы и размеров сеголеток. Чем раньше подвергается воздействию электромагнитного поля икра, тем сильнее проявляется характер и интенсивность морфологических изменений у рыб [2; 3, 4, 13;].

Из результатов исследований, выполненных к настоящему времени становится очевидным, что электромагнитные поля могут проявлять следующие свойства [28]:

- влиять на специфическую экспрессию гена;
- вызывать изменения конформации ДНК;
- активировать различные последовательности ДНК в зависимости от напряжённости поля,

при этом определённые индивидуальные последовательности ДНК могут функционировать как антенны;

– влиять на активность ферментов (возможно, и на активность ферментов, участвующих в репарационных процессах).

В соответствии с гипотезой резонансного взаимодействия магнитных полей с биологическими системами [8, 38] воздействие электромагнитных полей на живые организмы происходит через воздействие полей на заряженные частицы (в том числе и ионы), участвующие в метаболических реакциях. Отсюда следует предположить, что ЭМП способны существенно влиять на процессы переноса ионов металлов в клетку и из неё. Полученные к настоящему времени результаты различных экспериментов подтверждают это предположение. Так, одновременное воздействие на развивающуюся икру плотвы слабого низкочастотного электромагнитного поля (72,5 Гц, 150 мТ) в сочетании с ионами меди (0,01 мг/л и 0,001 мг/л) приводило к более сильно выраженным аномалиям в осевом скелете, снижению массы и длины тела, а также к уменьшению числа лучей в грудных плавниках и другим морфологическим изменениям у сеголеток по сравнению с контролем и вариантами изолированного действия анализируемых факторов [3]. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что взаимодействие НЧ ЭМП и ионов меди при их сочетанном действии имеет сложный характер для понимания которого нужны дальнейшие исследования.

Заключение

Вектор и сила биологических эффектов ЭМП может зависеть от его напряжённости, частоты, формы импульса, типа модуляции, магнитной интенсивности и длительности воздействия на организм. При этом некоторые результаты трудно интерпретировать из-за различных неконтролируемых, скрытых параметров, например, таких как локальная интенсивность и ориентация геомагнитного поля Земли и др.

Тяжёлые металлы в настоящее время являются одним из существенных факторов загрязнения окружающей среды, способным приводить к сильным антропогенным нарушениям водных экосистем, наземных фито- и зооценозов, а также отра-

жаться на состоянии здоровья населения загрязнённых регионов.

Следует подчеркнуть, что в перспективе насыщение биосферы антропогенными неионизирующими электромагнитными излучениями будет возрастать. Загрязнение окружающей среды солями тяжёлых металлов в ближайшее время также будет увеличиваться. По этой причине изучение генетических эффектов солей тяжёлых металлов и ЭМП различных частот как в острых экспериментах, так и при их хроническом воздействии на организмы необходимо исследовать для того, чтобы лучше понимать возможные последствия усиления действия этих факторов на биоту и здоровье человека.

Выводы

1. При сочетанном действии на годовиков карпа возрастающих (от 0,5 до 8,0 мг/л) концентраций ионов меди и низкочастотного (50 Гц) электромагнитного поля (увеличивающейся от 25 до 400 А/м напряжённостью) происходит рост суммарных частот ядерных аномалий в эритроцитах рыб. Статистически достоверные различия частот аномалий наблюдаются при сочетании факторов (Cu^{+2} 5 мг/л + НЧ ЭМП 250 А/м). При увеличении параметров исследуемых факторов до максимальных значений (Cu^{+2} 8 мг/л + НЧ ЭМП 400 А/м) происходит снижение суммарной частоты ядерных аномалий по сравнению с частотой аномалий в контрольной группе рыб. Причиной снижения частот аномалий предположительно является сильная интоксикация кроветворных клеток, приводящая к снижению интенсивности пролиферации и, следовательно, невозможности реализации возникших повреждений ядерного материала.

2. При сочетанном действии на годовиков карпа ионов меди и электромагнитного поля частотой 50 Гц суммарные частоты возникающих ядерных аномалий меньше частот, индуцируемых каждым из факторов при его индивидуальном воздействии на рыб. Причиной этого снижения частот при сочетанном действии может быть либо антагонизм взаимодействующих факторов, либо более сильная интоксикация клеток, препятствующая пролиферации клеток и реализации возникающих аномалий

Литература

1. Голованова И.Л. и др., Действие магнитного поля и меди на активность гидролитических ферментов у сеголеток плотвы *Rutilus rutilus*. / И.Л. Голованова, А.А. Филиппов, В.В. Крылов, Ю.В. Чеботарева, Ю.Г. Изюмов // *Вопросы ихтиологии*, 2013, Т. 53, № 2, –С. 227-232.
2. Крылов В.В. Действие слабых низкочастотных электромагнитных полей на морфобиологические показатели гидробионтов (на примере *Daphnia magna* Straus и *Rutilus rutilus* L.). Автореф. дис. канд. биол. н. Специальность: 03.00.16 – Экология. – Борок, 2008. –24 с.

3. **Крылов В.В. и др.** Влияние магнитного поля и ионов Cu^{2+} на раннее развитие плотвы *Rutilus rutilus* (L.) (*Cyprinidae*, *Cypriniformes*) / В.В. Крылов, Ю.В. Чеботарева, Ю.Г. Изюмов, Е.А. Осипова // *Journal of Siberian Federal University. Biology* 2. -2010. № 3. –С.199-210.
4. **Крылов В.В., Чеботарева Ю.В.** Инкубация икры плотвы *Rutilus rutilus* (L) в переменном электромагнитном поле частотой 500 Гц вызывает аномалии осевого скелета у сеголеток // *Экология пресноводных экосистем и состояние здоровья населения*. Оренбург: Печ. дом «Димур». 2006. -С. 80-86.
5. **Крюков В.И.** Генетический мониторинг антропогенного загрязнения окружающей среды : дис... доктора биол. наук : специальность – 05.13.09 – «Управление в биологических и медицинских системах»: защищена 19 мая 2000: утв. 08 сентября 2000 / Крюков Владимир Иванович. - Тула, ТулГУ, 2000. - 506 с.
6. **Крюков В.И. и др.** Индукция микроядер в эритроцитах карпа низкочастотным электромагнитным полем / Крюков В.И., Климов А.Л., Красова Н.В. // «Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны»: Матер. национальн. научно-практ. конф., Саратов, 4-5 октября 2016 г. / Под ред. А.В. Молчанова, – Саратов: Изд. «Научная книга», 2016. – 152 с. –С.60-67. ISBN 978-5-9758-1645-0
7. **Крюков В.И.** Ионы меди индуцируют микроядра в эритроцитах карпа. // *Биология в сельском хозяйстве*, 2018. № 1 (18). – С. 3-9.
8. **Леднев В.В.** Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей. // *Биофизика*.1996. Т. 41. № 1. –С. 224-232
9. **Лошицкий П.П.** Взаимодействие биологических объектов с физическими факторами. – Киев: Изд-во НТУУ «КПИ». 2010. –267с.
10. **Москвин С.В. и др.** Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека: Монография/ С.В. Москвин, Л.В. Соколовская, Т.И. Субботина, А.А. Хадарцев, А.А. Яшин, М. А. Яшин. Под ред. А.А. Хадарцева и А.А. Яшина: ГУП НИИ НМТ, ООО НИЦ «Матрикс». - Москва-Тверь-Тула: ООО «Издательство «Триада», 2007. - 158 с:
11. **Плеханов Г.Ф.,** Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии / Под ред. А.Г. Карташева. – Томск, 1990. – 186 с.
12. **Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. –М.: Медицина, 1975. -295 с.
13. **Чеботарева Ю.В. и др.** Влияние переменного электромагнитного поля на раннее развитие плотвы *Rutilus rutilus* (*Cyprinidae*, *Cypriniformes*). / Ю.В. Чеботарева, Ю.Г. Изюмов, В.В. Крылов. // *Вопросы ихтиологии*, 2009, Т. 49, № 3, –С.422-428.
14. **Шашурин М.М.** Эффекты действия техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы (обзор) // *Наука и образование*, 2015, №3. –С. 83-89.
15. **Abubakar A. et al.** Risk Assessment of Heavy Metals in Imported Frozen Fish *Scomber scombrus* Species Sold in Nigeria: A Case Study in Zaria Metropolis / Abdullahi Abubakar, Adamu Uzairu, Patricia Adamma Ekwumemgbo, and Oluwole Joshua Okunola // *Advances in Toxicology*. 2015. V 2015, Article ID 303245, 11 pages.
16. **Ansarihadipour H., Bayatiani M.** Influence of electromagnetic fields on lead toxicity: a study of conformational changes in human blood proteins / Hadi Ansarihadipour and Mohamadreza Bayatiani // *Iranian Red Crescent Medical Journal*. 2016. V. 18 №7: e28050. Published online 2016 May 31. DOI: 10.5812/ircmj.28050
17. **Ardeshir R.A. et al.** Fish liver biomarkers for heavy metal pollution: A review article / Rashid Alijani Ardeshir, Abdol-Ali Movahedinia, Sara Rastgar // *American Journal of Toxicology*. 2017. V.2, № 1.
18. **Atli G., Canli M.** Essential metal (Cu, Zn) exposures alter the activity of ATPases in gill, kidney and muscle of tilapia *Oreochromis niloticus* // *Ecotoxicol*. 2011. V. 20. № 8. –P. 1861-1869.
19. **Authman M.M.N. et al.** Use of fish as bioindicator of the effects of heavy metals pollution. / Authman M.M.N., Zaki M.S., Khallaf E.A., Abbas H.H. // *J. Aquaculture Res. Development* 2015 V. 6 –P. 328. DOI:10.4172/2155-9546.1000328
20. **Azab A.E., Ebrahim S.A.** Exposure to electromagnetic fields induces oxidative stress and pathophysiological changes in the cardiovascular system / Azab Elsayed Azab, Shaban Ali Ebrahim // *Applied Biotechnology & Bioengineering*, 2017. V. 4. № 2 –P.
21. **Azmat, H. et al.** Acute toxicity of aluminum to the fish (*Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala*). / Azmat, H., Javed, M. and Jabeen, G.. // *Pakistan Veterinary Journal*, 2012 V. 32.–P.85-87.
22. **Barjhoux I. et al.** Effects of copper and cadmium spiked-sediments on embryonic development of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). / Iris Barjhoux, Magalie Baudrimont, Bénédicte Morin, Laure Landi, Patrice Gonzalez, Jérôme Cachot // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2012. V. 79, № 1. –P.272-282.
23. **Carrasco K.R. et al.** Assessment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects / Kenneth R. Carrasco, Karen L. Tilbury, and Mark S. Myers // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1990, V. 47. № 11. –P. 2123-2136,

24. **Carrasco-Pozo C. et al.** In vitro interaction between homocysteine and copper ions: potential redox implications / Catalina Carrasco-Pozo, Alejandro Alvarez-Lueje, Claudio Olea-Azar, Camilo Lopez-Alarcon, And Hernan Speisky // *Experimental Biology and Medicine*. 2006. V. 231, № 9. –P. 1569-1575.
25. **Firat O., Kargin F.** Response of *Cyprinus carpio* to copper exposure: alterations in reduced glutathione, catalase and proteins electrophoretic patterns // *Fish Physiol. Biochem*. 2010. V. 36. № 4. –P. 1021-1028.
26. **Flik G. et al.** Stress response to waterborne Cu during early life stages of carp, *Cyprinus carpio*. / Flik G., Stouthart X.J., Spanings F.A., Lock R.A., Fenwick J.C., Wendelaar Bonga S.E. // *Aquat. Toxicol*. V. 56. № 3. –P. 167-176.
27. **Goodman E. M. et al.** Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on *Physarum polycephalum*. / Goodman, E. M., Greenebaum, B., and Marron, M. T. // *Radiat. Res*. 1976. V.66. № 3. –P. 531-540.
28. **Hunt R.W. et al.** Electromagnetic biostimulation of living cultures for biotechnology, biofuel and bioenergy applications. Review. // Ryan W. Hunt, Andrey Zavalin, Ashish Bhatnagar, Senthil Chinnasamy and Keshav C. Das // *International Journal of Molecular Sciences*. 2009, V. 10. –P. 4515-4558. doi:10.3390/ijms10104515
29. **Hussain B. et al.** Fish eco-genotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution / Bilal Hussain, Tayyaba Sultana, Salma Sultana, Muhammad Shahreef Masoud, Zubair Ahmed, Shahid Mahboob // *Saudi Journal of Biological Sciences* 2018. V 25, № 2, –P. 393-398.
30. **Jeziarska B. et al.** Malformations of newly hatched common carp larvae / Barbara Jeziarska, Katarzyna Lugowska, Malgorzata Witeska, Piotr Sarnowski. // *Electronic Journal of Polish agricultural universities*. 2000. T. 3, № 2.
31. **Jeziarska B. et al.** The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review). / Jeziarska B, Ługowska K, Witeska M. // *Fish Physiol Biochem*. 2009 V. 35. № 4. –P.625-640.
32. **Jeziarska B. et al.** The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review) / Jeziarska B.,Ługowska K., Witeska M. // *Fish Physiol. Biochem*. V. 35. № 4. –P. 625–640.
33. **Jeziarska B., Witeska M.** The metal uptake and accumulation in fish living in polluted waters / Barbara Jeziarska and Malgorzata Witeska // In: *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*. Twardowska I. et al. (eds.),–Berlin: Springer. 2006 –P. 3-23.
34. **Jovanović B, et al.** Assessment of heavy metal load in chub liver (*Cyprinidae–Leuciscus cephalus*) from the Nišava River (Serbia). / Jovanović B, Mihaljev Ž, Maletin S, Palić D. // *Biologica Nyssana*. 2011, 2(1). –P.51-58.
35. **Kour P. et al.** Evaluation of acute toxicity of copper sulphate in different tissues of *Euphylyctis cyanophlyctis*. / Preetpal Kour, N.K. Tripathi, Poonam P. // *Journal of Asian Scientific Research*, 2014, V. 4, № 2. –P. 59-69.
36. **Kousar S., Javed M.** Heavy metals toxicity and bioaccumulation patterns in the body organs of four fresh water fish species / Safina Kousar and Muhammad Javed // *Pakistan Veterinary Journal*. 2014. V.34, № 2. –P.161-164. ISSN: 0253-8318 (print), 2074-7764 (online) Accessible at: http://www.pvj.com.pk/pdf-files/34_2/161-164.pdf
37. **Kousar S, Javed M.** Studies on induction of nuclear abnormalities in peripheral blood erythrocytes of fish exposed to copper / Safina Kousar, Muhammad Javed // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2015. V. 15. –P.879-886
38. **Lednev V.V.** Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. // *Bioelectromagnetics*. 1991 V. 12, № 2. –P. 71-75
39. **Macomber L. et al.** Intracellular Copper Does Not Catalyze the Formation of Oxidative DNA Damage in *Escherichia coli* / Lee Macomber, Christopher Rensing, and James A. Imlay // *Journal of Bacteriology*. 2007. V. 189. № 5. –P.1616-1626 DOI: 10.1128/JB.01357-06
40. **Marron, M.T. et al** Effects of weak electromagnetic fields on *Physarum polycephalum*: Mitotic delay in heterokaryons and decreased respiration. / Marron, M.T.; Goodman, E.M.; Greenebaum, B. // *Experientia* 1978, V. 34, –P.589–591.
41. **Mercer S.W. et al.** *In vivo* modeling of the pathogenic effect of copper transporter mutations that cause Menkes and Wilson diseases, motor neuropathy, and susceptibility to Alzheimer's disease. / Stephen W. Mercer, Jianbin Wang and Richard Burke // *The Journal of Biological Chemistry*. 2017. V. 292. –P. 4113-4122. doi: 10.1074/jbc.M116.756163
42. **Mourón S.A. et al.** A comparative investigation of DNA strand breaks, sister chromatid exchanges and K-ras gene mutations induced by cadmium salts in cultured human cells. / Mourón S.A., Grillo C.A., Dulout F.N., Golijow C.D. // *Mutat. Res. Fundam. Mol. Mech. Mutagen*. 2004, V. 568. #2. –P. 221-231.
43. **Obe G. et al.** Chromosomal aberrations: formation, identification and distribution. / Obe G., Pfeiffer P., Savage J.R.K., Johannes C., Goedecke W., Jeppesen P. // *Mutat. Res. Fundam. Mol. Mech. Mutagen*. 2002, V. 504. #1. –P. 17-36.
44. **Obiakor, M.O. et al.** Genotoxicology: single and joint action of copper and zinc to *Synodontis clarias* and *Tilapia nilotica* / Obiakor, M.O., Okonkwo, J.C.; Ezeonyejiaku, C.D., Ezenwelu, C.O. // *J. Appl. Sci. Environ. Manage*. September, 2010. V. 14. № 3. – P. 59-64.

45. **Obiakor M.O. et al.** Eco-genotoxicology: micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ aquatic pollution biomarker: a review / Obiakor M. O., Okonkwo J. C, Nuabude P. C. and Ezeonyejiaku C. D. // J.Anim. Sci. Adv. 2012. V. 2. № 1. –P. 123-133
46. **Oner M. et al.** Effects of metal (Ag, Cd, Cr, Cu, Zn) exposures on some enzymatic and non-enzymatic indicators in the liver of *Oreochromis niloticus*. / Oner M., Atli G., Canli M. // Bull Environ Contam Toxicol. 2009 V. 82. № 3. –P. 317-321. DOI: 10.1007/s00128-008-9577-4. Epub 2008 Oct 25.
47. **Patenković A. et al.** The impact of extremely low frequency electromagnetic field (50 Hz, 0.25 mT) on fitness components and wing traits of *Drosophila subobscura* / Aleksandra Patenković, Tatjana Savic, Bojan Kenig, Zorana Kurbalija Novicic, Marko Anđelković // Genetika. 2015. V. 47. № 3 DOI 10.2298/GENSR1503967P.
48. **Patra M. et al.** Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance./ Patra, M., Bhowmik, N. Bandothayay, B. and Sharma, A. // Environ. Exp. Bot. 2004. V.52. –P.199-223. doi: 10.1016/j.envexpbot.2004.02.009.
49. **Rasgele P.G. et al.** Induction of micronuclei in mice bone marrow cells by cobalt and copper chlorides / Pinar Goc Rasgele, Meral Kekecoglu, Fulya Dilek Gokalp Muranli. // Archives of Environmental Protection. 2013. V. 39. № 1. –P.75-82. DOI: 10.2478/aep-2013-0007
50. **Russo C. et al.** Assessment of environmental stress by the micronucleus test and the Comet assay on the genome of teleost populations from two natural environments. / Russo C, Rocco L, Morescalchi MA, Stingo V. // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2004; V. 57. # 2. –P.168-174.
51. **SCENIHR.** Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF) / Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR adopted at the 9th plenary meeting on 27 January 2015). –European Commission, 2015.–288 p ISSN 1831-4783, ISBN 978-92-79-30134-6, DOI: 10.2772/ 75635, ND-AS-13-004-EN-N
52. **Smpokou P. et al.** Menkes disease in affected females: the clinical disease spectrum. Smpokou P, Samanta M, Berry GT, Hecht L, Engle EC, Lichter-Konecki U. // Am. J. Med. Genet. 2015. V. 167A. № 2. – P. 417-420. doi: 10.1002/ajmg.a.36853. Epub 2014 Nov 26.
53. **Stouthart X.J. et al.** Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*) / Xander J.H.X. Stouthart, Jeroen L.M. Haans, Robert A.C. Lock, Sjoerd E.Wendelaar Bonga. // Environmental Toxicology and Chemistry. 1996. V. 15, № 3, –P. 376-383.
54. **Vanegas-Acosta J.C.** Electric fields and biological cells: numerical insight into possible interaction mechanisms / Juan Carlos Vanegas-Acosta – Netherlands, Eindhoven University of Technology, 2015. – 336 p.
55. **Yaqub, S., Javed M.** Acute toxicity of waterborne and dietary cadmium and cobalt for fish. // International Journal of Agriculture & Biology, 2012. V.14. –P. 276-280

Поступила в редакцию: 05.05.2018 г.

Крюков Владимир Иванович, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник ИНИИ ЦКП ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парухина», e-mail: ecogenet@mail.ru1

УДК/UDC 633.853.483:638.14.03

Н.И. Велкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
В.П. Наумкин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»,
Россия, г. Орел, тел. 8 (4862) 45-40-59, e-mail: nvelkova@yandex.ru

Velkova N.I., ph.d. in agricultural sciences, senior lecturer
Naumkin V.P., doctor of agricultural sciences, professor of Orel State Agrarian University named after N.V.
Parakhin,
Russia, Orel, tel. 8 (4862) 45-40-59, e-mail: nvelkova@yandex.ru

**ЦВЕТОЧНО-НЕКТАРНЫЙ КОНВЕЙЕР ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ (*SINAPIS ALBA L.*)
В МЕСТАХ ОБИТАНИЯ СРЕДНЕРУССКОЙ ПОРОДЫ ПЧЕЛ
(Flower nectar conveyor of white mustard (*Sinapis alba L.*) in habitats of bees)**

В работе изучена пыльцевая и нектарная продуктивность горчицы белой, а также приемы организации цветочно-нектарного конвейера при возделывании разных сортообразцов горчицы в несколько сроков посева. Установлено, что продолжительность цветения у сортов горчицы белой по годам колебалась от 24 до 32 суток, пыльцевая продуктивность гектара посева горчицы белой изменялась по годам от 88, 7 кг/га до 205,1 кг/га. Использование пчеловодами и растениеводами цветочно-нектарного конвейера позволяет увеличить продолжительность медосбора до двух месяцев. Сделан вывод, что посев горчицы белой в мае позволяет заполнить безмедосборный период до цветения гречихи, основного медосбора области, обеспечить пчелиные семьи достаточным количеством пыльцы и нектара, необходимые для их роста и развития, а также получить ценный продукт питания населения – мед и хороший урожай.

Ключевые слова: пыльцевая продуктивность, нектаропродуктивность, сортообразец, цветение, способы посева, урожайность, конвейер, пчелы.

Введение. Горчица белая – ценная для улучшения кормовой базы пчеловодства культура [2, 3, 4, 5]. Проведенные нами исследования по оценке пыльцевой продуктивности 42 сортообразцов горчицы белой коллекции ВИР из различных эколого-географических групп показали, что в годы исследований она значительно изменялась по годам от 102,6 до 532,6 кг/га [6-10].

Наряду с пыльцевой продуктивностью одним из основных факторов влияющих на медосбор и эффективность опыления цветка является количество выделяемого растениями нектара. В последние десятилетия нектаропродуктивность горчицы белой значительно увеличилась. Ученые Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова (г. СПб), изучавшие генетическую коллекцию растений отметили, что горчица белая важнейший медонос, обеспечивающий сбор 100-300 кг меда с гектара и более. Рекордная медопродуктивность её достигла 362 кг/га. Таким образом,

In the work of the pollen was studied and nectar productivity mustard white, as well as techniques of organization of flower nectar pipeline in the cultivation of different samples of mustard in several planting dates. Set that duration of flowering mustard varieties have white by years ranged from 24 to 32 days, pollen productivity hectare planting mustard white varied by year from 88, 7 kg/ha to 205,1 kg/ha. Use of beekeepers and breeders of flower nectar pipeline allows you to increase the duration of honey yield up to two months. It is concluded that sowing mustard white in May to fill the period without honey before flowering buckwheat, major honeyflow area, to ensure sufficient number of bee colonies of pollen and nectar required for their growth and development, as well as get valuable product nutrition honey and a good harvest.

Keywords: pollen productivity, nectar productivity, varieties, flowering, seeding methods, yields a pipeline by bees.

горчица белая из второстепенной медоносной культуры превратилась в одну из наиболее ценных медоносных культур [11-17].

Породы пчел проявляют флороспециализацию к медосбору различных видов растений. Ряд авторов связывают это с морфобиологическими признаками насекомых, и в первую очередь с длиной хоботка [1].

В ряде случаев этот признак может иметь непосредственное отношение к эффективности опыления пчелами цветков растений, особенно с узкими, длинными венчиками. Подтверждением этому служит фактор лучшего опыления клевера красного длиннохоботными пчелами. Выбирая источник медосбора среднерусские пчелы предпочитают такие медоносы, как гречиха, горчица, липа и работают на них значительно лучше южных пород [2].

Материалы и методы исследований. В данной работе нами изучалась урожайность, нектар-

ная и пыльцевая продуктивность сортов горчицы белой, высеянных разными способами в несколько последовательных сроков. Работа выполнялась во ВНИИЗБК (г. Орел) в 2007-2009 гг. Посев проводился широкорядным (10 кг/га) и рядовым (16 кг/га) способом в 3 срока: 2, 12, 22 мая. В опыте использовались сорта: ВНИИМК-518 (ВНИИМК), Рапсодия (ВНИИ рапса), Луговская (ВИК). Изучение морфологических признаков пчел проводилось по методике В.В. Алпатов (1945).

Результаты исследований и их обсуждение. На территории Орловской области издавна обитали среднерусские пчелы, которые в процессе эволюции лучше других пород приспособились к

бурному, короткому медосбору. В последние десятилетия в области наблюдался завоз пчел южных пород, приведший к метизации аборигенных пчел, однако, согласно «Плану породного районирования пчел» (1985) Орловская область относится к областям, разводящим чистопородных среднерусских пчел, наиболее эффективно опыляющих горчицу и гречиху.

Проведенное нами изучение экстерьера пчел отловленных на посевах горчицы белой в разные годы показывает, что пчелы, опыляющие горчицу, относятся к типично среднерусской породе пчел (см. табл.1).

Таблица 1. - Экстерьер медоносных пчел на посевах горчицы белой

признак \ год	M±m		
	2000 г	2004 г	2008 г
Длина хоботка, мм	6,29±0,016	6,32±0,058	6,26±0,018
Длина крыла, мм	9,62±0,032	9,55±0,036	9,46±0,029
Ширина крыла, мм	3,17±0,007	3,23±0,003	3,12±0,001
Длина 3-го тергита, мм	2,47±0,011	2,40±0,016	2,45±0,012
Ширина 3-го тергита, мм	5,06±0,024	5,30±0,026	5,16±0,011
Длина воскового зеркала, мм	2,57±0,013	2,65±0,017	2,61±0,013
Ширина воскового зеркала, мм	1,57±0,013	1,62±0,011	1,60±0,011
Длина первого членика задней лапки, мм	2,22±0,011	2,27±0,018	2,21±0,010
Ширина первого членика задней лапки, мм	1,19±0,006	1,23±0,011	1,17±0,008
Кубитальный индекс, %	60,80±0,524	61,80±0,540	60,96±0,728
Тарзальный индекс, %	53,6±0,590	53,31±0,618	52,90±0,755

Пчелы, отловленные на цветках горчицы, по основным экстерьерным признакам, относятся к среднерусской породе. Поэтому постоянный мониторинг чистопородности среднерусских пчел по экстерьеру будет способствовать эффективности опыления горчицы белой.

Установлено, что погодно-климатические условия в годы проведения исследований оказывали значительное влияние на продолжительность вегетационного периода, урожайность сортов горчицы белой, их пыльцевую и нектарную продуктивность [18,19].

Таблица 2. - Пыльцевая продуктивность разных сортов горчицы белой в зависимости от сроков и способов посева, кг/га (г. Орел, 2007-2009 гг).

способ \ срок	2 мая	12 мая	22 мая
ВНИИМК-518			
широкорядный	198,1	185,7	124,9
рядовой	135,0	126,6	88,7
Рапсодия			
широкорядный	205,1	192,4	154,1
рядовой	148,4	141,0	117,8
Луговская			
широкорядный	203,2	198,6	153,6
рядовой	149,4	143,6	119,2
средняя по сортам			
широкорядный	202,1	192,2	144,2
рядовой	144,3	137,1	105,6

В формировании урожая и медосбора большое значение имеет время и продуктивность цветения, которые зависят от особенностей культуры. Продолжительность цветения у сортов по годам

колебалась от 24 до 32 суток. Наиболее продолжительное цветение у сортов было отмечено в 2008 году, как при разных сроках, так и при разных способах посева. Достоверных различий по влия-

нию сорта и способа посева на продолжительность цветения горчицы белой в годы изучения не выявлено.

Цветение посева одного срока следует за другим без перерыва, составляя цветочный конвейер. Он обеспечивает пчел непрерывным медосбором сначала июня до конца июля [20-24].

Изучение пыльцевой продуктивности разных сортов горчицы белой (см. табл.2) показало, что наиболее высокие значения характерны для ширококорядных посевов различных сроков у всех сор-

тов. Пыльцевая продуктивность первого срока посева (2 мая) была значительно выше, чем у второго (12 мая) и третьего срока (22 мая).

Оценка нектаропродуктивности разных сортов горчицы белой (см. табл.3) свидетельствует, о более высоких показателях первого срока посева и снижению её у второго и третьего срока. Сорта, высеянные ширококорядным способом, превышали показатели нектаропродуктивности рядового способа посева.

Таблица 3. - Нектаропродуктивность разных сортов горчицы белой в зависимости от сроков и способов посева, кг/га (Орел, 2007-2009 гг.)

способ \ срок	2 мая	12 мая	22 мая
ВНИИМК-518			
широкорядный	274,0	207,4	137,0
рядовой	213,4	145,4	91,6
Рапсодия			
широкорядный	280,2	209,0	147,4
рядовой	222,6	152,8	104,6
Луговская			
широкорядный	303,2	226,2	155,0
рядовой	227,4	162,8	108,4
средняя по сортам			
широкорядный	285,8	214,2	146,4
рядовой	221,2	153,6	101,4

Анализ биологической урожайности горчицы показывает, что в среднем по сортам наивысших показателей она достигает у первого срока при ширококорядном посеве (2 мая) – 18,54 ц/га, снижаясь у второго (12 мая) и третьего (22 мая) срока до 11,80 ц/га и 7,81 ц/га. Биологическая

урожайность сортов горчицы белой, высеянной рядовым способом, значительно ниже, чем при ширококорядном, и составила у первого срока (2 мая) – 15,67 ц/га, у второго срока (12 мая) – 8,29 ц/га и у третьего срока посева (22 мая) – 5,99 ц/га.

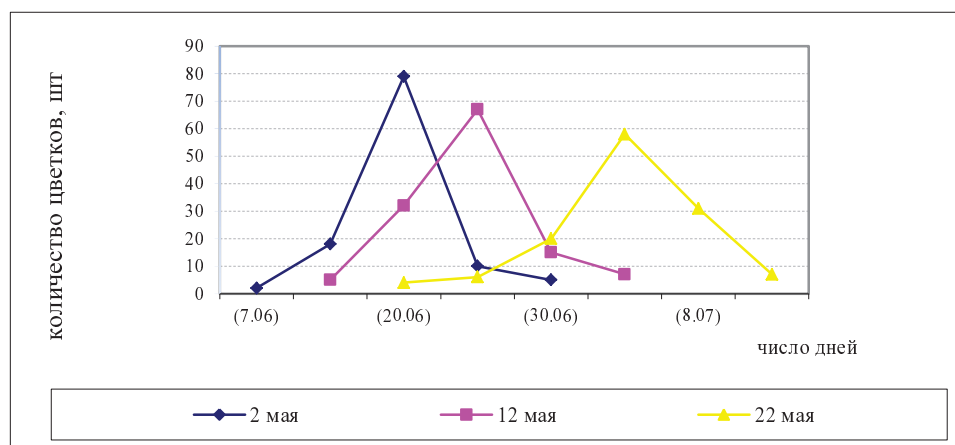


Рис. 1. – Продолжительность цветения сортов горчицы белой разных сроков и способов посева (сутки, 2007-2009)

Установлено, что при организации цветочно-нектарного конвейера с точки зрения получения наивысших урожаев зерна и меда, наибольшего внимания заслуживает посев сортов горчицы белой ширококорядным способом (10 кг/га) в ранние сроки. Особенно высокую эффективность дает

первый срок посева (2 мая). Продолжительность цветения сортов горчицы белой разных сроков посева составляет от 1,5 до 2 месяцев (см. рис. 1).

Выводы. На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- продолжительность цветения у сортов горчицы белой по годам колебалось от 24 до 32 суток;
-пыльцевая продуктивность гектара посева горчицы белой изменялась по годам от 88, 7 кг/га до 205,1 кг/га;
-нектаропродуктивность гектара посева составляли от 91,6 кг/га до 303,2 кг/га;
-биологическая урожайность в опыте получена от 5,73 ц/га до 19,82 ц/га;
-наиболее эффективные показатели характерны для широкорядного способа первого срока посева (2 мая).

- использование пчеловодами и растениеводами цветочно-нектарного конвейера позволяет увеличить продолжительность медосбора до двух месяцев и получить дополнительно мед и семена горчицы.

Таким образом, посев горчицы белой в мае позволяет заполнить безмедосборный период до цветения гречихи, основного медосбора области, обеспечить пчелиные семьи достаточным количеством пыльцы и нектара, необходимые для их роста и развития, а также получить ценный продукт питания населения мед и хороший урожай.

Литература

1. **Алпатов В.В.** Породы медоносной пчелы.- М. МГУ. 1945. С. 7-17.
2. **Велкова Н.И.** Использование горчицы белой (*Sinapis alba* L.) для расширения медоносных ресурсов ЦЧР/диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Орел. 2004. 216с.
3. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Возделывание горчицы белой (*Sinapis alba* L.) в условиях ЦЧР. Монография.- ОрелГАУ, 2009.- 306 с.
4. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Рекомендации по использованию горчицы белой для улучшения кормовой базы пчеловодства путем организации цветочно-нектарного конвейера. Орел. 2000. 15 с.
5. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Возделывание горчицы белой (*Sinapis alba* L.) для укрепления кормовой базы пчеловодства в Орловской области. Методические рекомендации. Орел. 2007. 44 с.
6. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Пыльцевая продуктивность горчицы белой. *Пчеловодство*. 2007; 9:10-12.
7. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Горчица белая – перспективный медонос. *Пчеловодство*. 2013; 7:20-22.
8. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Пыльцевая и нектарная продуктивность горчицы белой. *Пчеловодство*. 2014; 9:26-28.
9. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Продуктивность пыльцы и нектара цветками горчицы белой в зависимости от сроков и способов посева / Сборник научных трудов по пчеловодству ОГАУ. Вып. 22. Орел: «Картуш».2015. С.72–78.
10. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Пыльцевая и нектарная продуктивность сортов горчицы белой разных сроков и способов посева. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014; №3(11):72-76.
11. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Горчица белая – медоносная культура. Монография.- Орел: Изд-во «Картуш», 2015.- 160 с.
12. **Велкова Н.И., Наумкин В.П., Мазалов В.И.** Рекомендации по возделыванию горчицы белой (*Sinapis alba* L.) как медоносной культуры. ОрелГАУ. 2013. 29с.
13. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Горчица – дар людям и пчелам. *Пчеловодство*. 2014; 1:22-24.
14. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Медонос – горчица белая. *Пчеловодство*. 2000; 2:24-25.
15. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Использование горчицы белой и продуктов ее переработки в питании, медицине и косметике. Орел. 2014. 154 с.
16. **Наумкин В.П., Яровая Н.И.** Мед-экологически чистый продукт. *Пищевая промышленность*. 2002; 11:44-46.
17. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Медоносная ценность горчицы белой. В сборнике: Аграрная наука- основа успешного развития АПК и сохранения экосистем Материалы Международной научно-практической конференции. 2012. С.82-84.
18. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность горчицы белой. *Зерновое хозяйство России*. 2013; . №4(28):С.55-58.
19. **Донская М.В., Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Изучение морфобиологических признаков и урожайности совместных посевов чины с горчицей белой. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016; №1(17):63-67.
20. **Naumkin V.P., Velkova N.I.** Species diversity of insects-pollinators on crops of white mustard. *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2013; 4 (Т.43):28-32.
21. **Велкова Н.И., Наумкин В.П.** Лет пчел на сортах горчицы белой. *Пчеловодство*. 2008; 10:16-17.
22. **Наумкин В.П., Велкова Н.И., Куликов Н.И.** Насекомые на горчице белой. *Пчеловодство*. 2004; 6:20-21.

23. **Наумкин В.П.** Насекомые-опылители на посевах медоносных культур. *Пчеловодство*. 2014; 2:6-8.
24. **Наумкин В.П., Велкова Н.И.** Изучение видового состава насекомых-опылителей горчицы белой. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013; 3:87-93.

Поступила в редакцию: 10.09.2017 г.

Велкова Наталья Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агроэкологии и охраны окружающей среды, **Наумкин Владимир Петрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агроэкологии и охраны окружающей среды, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 302040, г. Орел, ул. Красноармейская, д. 17, тел. 8 (4862) 45-40-59, e-mail: nvelkova@yandex.ru