

ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

Научно-теоретический журнал
Российского государственного аграрного университета —
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Сообщаются результаты экспериментальных, теоретических и методических исследований в различных областях сельскохозяйственной науки и практики, выполненных в разных природно-экономических зонах страны

Основан в 1878 году
6 номеров в год

Выпуск

5

сентябрь – октябрь

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2015

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР — д. с.-х. н., проф.,
акад. РАН **В.М. Лукомец**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
д. э. н., проф., засл. деятель науки РФ **А.В. Голубев**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д. э. н., проф., акад. РАН **В.М. Баутин**, д. с.-х. н., проф. **С.Л. Белопухов**,
к. с.-х. н. **М.Е. Бельшкينا**, к. с.-х. н. **Е.В. Березовский**, проф. **R. Valentini** (Италия),
д. б. н., проф. **И.И. Васенев**, д. э. н., проф. **Р.С. Гайсин**, д. с.-х. н., проф. **С.А. Грикшас**,
проф. **W. Gerd** (Германия), д. б. н., проф. **Ф.С. Джалилов**, к. с.-х. н. **А.А. Дручек**,
д. с.-х. н., проф., акад. РАН **Н.Н. Дубенок**, д. в. н., проф. **Г.П. Дюльгер**,
д. э. н., проф., чл.-корр. РАН **А.П. Зинченко**, д. б. н., проф. **А.А. Иванов**,
д. с.-х. н., проф. **А.В. Исачкин**, д. б. н., проф., акад. РАН **В.И. Кирюшин**,
д. с.-х. н., проф. **Н.Н. Лазарев**, к. фил. н., доц. **В.И. Марковская**,
д. б. н., проф., акад. НАНУ и НААНУ **Д.А. Мельничук** (Украина),
к. с.-х. н. **Г.Ф. Монахос**, д. б. н., проф. **В.Д. Наумов**, д. т. н., проф.,
акад. РАН **В.А. Панфилов**, д. б. н., проф. **С.Я. Попов**, д. х. н., проф. **Н.М. Пржевальский**,
д. с.-х. н., проф. **А.К. Раджабов**, д. с.-х. н., проф. **Г.В. Родионов**, к. б. н., доц. **В.С. Рубец**,
д. э. н., доц. **Н.М. Светлов**, к. б. н., доц. **О.В. Селицкая**, к. соц. н. **Н.А. Смоленинова**,
д. б. н., проф. **А.А. Соловьев**, д. б. н., проф. **И.Г. Тараканов**, д. б. н., проф. **С.П. Торшин**,
к. с.-х. н., доц. **Р.Р. Усманов**, д. б. н., проф. **Л.И. Хрусталева**,
д. с.-х. н., проф. **С.Н. Харитонов**, д. с.-х. н., проф. **В.А. Черников**,
д. т. н., проф. **И.Н. Шило** (Беларусь), д. с.-х. н., проф. **А.С. Шуварилов**,
д. с.-х. н., проф. **Ю.А. Юлдашбаев**, д. с.-х. н., доц. **Г.Г. Юсупова**

Редакция

М.Е. Бельшкينا — зав. редакцией
Т.К. Иванова — компьютерный набор и верстка
А.Ю. Бурмистрова — перевод на английский язык

Журнал входит в перечень
ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК

Журнал включен в базу данных AGRIS
и в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Правила оформления научных статей для опубликования в журнале
«Известия ТСХА» размещены в Интернете (<http://www.journal.timacad.ru>)

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015
© Издательство РГАУ-МСХА, 2015

ISSN 0021-342X

IZVESTIYA

of
Timiryazev Agricultural Academy

Scientific-theoretical Journal
of Russian Timiryazev State Agrarian University

*Results of experimental, theoretical and methodical investigations
into different spheres of agricultural science and practice
carried out in various natural-economic zones
of the country are published in the journal*

Founded in 1878
6 issues per year

Issue

5

September – Oktober

Moscow
Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University
2015

EDITOR-IN-CHIEF – Dr. of Agricultural sciences,
Professor, a member of RAS **V.M. Lukomets**

ASSISTANT CHIEF EDITOR: Dr. of Economics, Professor,
Honoured Science Worker of the Russian Federation **A.V. Golubev**

EDITORIAL BOARD

Dr. of Economics, Prof., a member of RAS **V.M. Bautin**, Dr. of Agricultural sciences,
Prof. **S.L. Belopukhov**, PhD in Agricultural sciences **M.E. Belyshkina**,
PhD in Agricultural sciences **E.V. Berezovskiy**, Prof. Dr. **R. Valentini** (Italy),
Dr. of Biology, Prof. **I.I. Vasenev**, Dr. of Economics, Prof. **R.S. Gaysin**,
Dr. of Agricultural sciences, Prof. **S.A. Griksbas**, Prof. Dr. **W. Gerd** (Germany),
Dr. of Biology, Prof. **F.S. Dzhalilov**, PhD in Agricultural sciences **A.A. Druchek**,
Dr. in Agricultural sciences, Prof., a member of RAS **N.N. Dubenok**,
Dr. of Veterinary, Prof. **G.P. Dyulger**, Dr. of Economics, Prof.,
corresponding member of RAS **A.P. Zinchenko**, Dr. of Biology, Prof. **A.A. Ivanov**,
Dr. of Agricultural sciences, Prof. **A.V. Isachkin**, Dr. of Biology, Professor,
a member of RAS **V.I. Kiryushin**, Dr. of Agricultural sciences, Prof. **N.N. Lazarev**,
PhD in Philological Sciences, Associate Professor **V.I. Markovskaya**,
Dr. of Biology, Prof., a member of NASU and NAASU **D.A. Melnichuk** (Ukraine),
PhD in Agricultural sciences **G.F. Monakhos**, Dr. of Biology, Prof. **V.D. Naumov**,
Dr. of Technical sciences, Prof., a member of RAS **V.A. Panfilov**,
Dr. of Biology, Prof. **S.Ya. Popov**, Dr. of Chemical sciences, Prof. **N.M. Przhevalskiy**,
Dr. of Agricultural sciences, Prof. **A.K. Radzhabov**, Dr. of Agricultural sciences,
Prof. **G.V. Rodionov**, PhD in Biology, Associate Prof. **V.S. Rubets**,
Dr. of Economics, Associate Prof. **N.M. Svetlov**, PhD in Biology,
Associate Prof. **O.V. Selitskaya**, PhD in Social science **N.A. Smoleninova**,
Dr. of Biology, Prof. **A.A. Soloviev**, Dr. of Biology, Prof. **I.G. Tarakanov**,
Dr. of Biology, Prof. **S.P. Torshin**, PhD in Agricultural sciences,
Associate Prof. **R.R. Usmanov**, Dr. of Biology, Prof. **L.I. Khrustalyova**,
Dr. of Agricultural sciences, Prof. **S.N. Kharitonov**, Dr. of Agricultural sciences,
Prof. **V.A. Chernikov**, Dr. of Engineering sciences, Prof. **I.N. Shilo** (Republic of Belarus),
Dr. of Agricultural sciences, Prof. **A.S. Shuvarikov**, Dr. of Agricultural sciences,
Prof. **Yu.A. Yuldashbaev**, Dr. of Agricultural sciences, Associate Prof. **G.G. Yusupova**

EDITORIAL STAFF

M.E. Belyshkina — managing editor
T.K. Ivanova — computer design and making-up
A.Yu. Burmistrova — translation into English

The journal is included in the list of both leading scientific journals
and publications under review of VAK (Higher Attestation Commission)

The journal is also included in both AGRIS database
and in Russian index of scientific quoting (RINTS)

Rules of scientific articles typography for publishing in the journal “Izvestiya of TAA”
are put on the internet at this address (<http://www.journal.timacad.ru>)

No fee is charged from postgraduates for publications

© Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University, 2015
© Publishing House of Russian Timiryazev State Agrarian University, 2015



150-ЛЕТИЮ ТИМИРЯЗЕВКИ ПОСВЯЩАЕТСЯ...

ПРИВЕТСТВИЕ МИНИСТРА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дорогие друзья!



От имени Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и от себя лично поздравляю вас со 150-летием Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева!

*Полтора века — немалый срок. За этот период легендарная Тимирязевка стала *alma mater* для представителей многих поколений. В ее стенах делали свои первые шаги на профессиональном*

поприще всемирно известные ученые и высококвалифицированные специалисты-практики в самых разных областях АПК.

Жизнь университета неразрывно связана с историей нашей страны. За минувшие 150 лет на долю России выпало немало испытаний. Но, несмотря на сложности и трудности, политические и социальные изменения, крупнейший российский аграрный вуз всегда был, есть и будет оплотом качественного образования, серьезной научной школой, творческой лабораторией, где рождаются смелые идеи и перспективные решения.

Спасибо всем достойным продолжателям славных традиций за деятельную любовь к родному вузу и неравнодушие к судьбе отечественной аграрной отрасли. Желаю вам новых успехов и всего наилучшего!

Министр сельского хозяйства
Российской Федерации

А.Н. Ткачев



150-ЛЕТИЮ ТИМИРЯЗЕВКИ ПОСВЯЩАЕТСЯ...

**ПРИВЕТСТВИЕ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА,
РЕКТОРА РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА**

Поздравляю с юбилеем!



Дорогие друзья! Нам посчастливилось приобщиться к великой истории ведущего и старейшего аграрного вуза страны — Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

За свои 150 лет университет прошел славный путь от зарождения российской аграрной науки и образования до современного научно-образовательного и инновационного центра России, получившего мировое признание.

Накануне юбилея произошло поистине историческое событие — к РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева присоединились Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина и Московский государственный университет природообустройства. Сегодня это мощный учебный и научно-производственный комплекс, включающий в себя практически все направления подготовки кадров для агропромышленного комплекса России. Поднять страну на уровень одного из крупнейших мировых производителей и импортеров продовольствия — задача, непосредственное участие в реализации которой принимают сегодняшние студенты Тимирязевки.

В перспективе планируем сформировать на базе вуза исследовательский центр мирового уровня. Большая работа ведется в части подготовки высококвалифицированных кадров и развития новых инновационных направлений. Университет подписал соглашения о партнерстве с Министерством сельского хозяйства и продовольствия Московской области,

меморандум о взаимопонимании с инновационным центром «Сколково». Долгосрочное партнерство с руководством «Сколково» позволит не просто внести заметный вклад в развитие агробизнеса, но уже в ближайшее время создать на базе университета агротехнопарк. Взаимодействуем с «Роснано» и другими центрами инноваций.

У Тимирязевки обширные зарубежные связи, реализуется более 80 договоров о сотрудничестве с международными партнерами в странах Европы, Азии, Африки. Продолжим расширять контакты с нашими партнерами, растить кадры для стран-участниц СНГ.

Ведущий аграрный вуз, с именем которого связана целая плеяда великих ученых — Вавилова, Чаянова, Горячкина, Костякова, Прянишникова и других — с честью выполняет свою историческую миссию и сегодня остается лидером российского аграрного образования. За свою историю университет выпустил более двухсот тысяч специалистов. Эту цифру можно сравнить с целым городом, населенным жителями разных национальностей и вероисповедания, интересов и увлечений. Всех их объединяет Тимирязевка, ставшая дорогим для каждого словом.

Уважаемые коллеги, дорогие студенты и выпускники! От всей души желаю вам крепкого здоровья, счастья, семейного благополучия и новых свершений на благо России!

Ректор РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева,
академик РАН

Вячеслав Лукомец

УДК (282.247.412.2):504.4.06

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОД МОСКВЫ-РЕКИ В СТОЛИЧНОМ МЕГАПОЛИСЕ

И.М. ЯШИН¹, И.И. ВАСЕНЕВ¹, И.В. ГАРЕЕВА², В.А. ЧЕРНИКОВ¹

(¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;
² ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве»)

Рассматриваются результаты полевых и лабораторных исследований качества вод Москвы-реки по сезонам 2010–2014 гг. в створах, расположенных до мегаполиса, в центре города и на выходе вод реки за пределы города. Установлено устойчивое загрязнение вод Москвы-реки ионами железа, фенолами, нефтепродуктами, ионами аммония и другими экотоксикантами, заметно ухудшающими экологическую безопасность и качество вод в пределах столичного мегаполиса.

Ключевые слова: вода, Москва-река, притоки реки, нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы, аммоний, нитриты, БПК, экологическая безопасность воды для пищевых целей.

По результатам комплексного обследования бассейна Москвы-реки, проведенного специалистами «Росприроднадзора» еще в 2004–2005 гг., вода реки отнесена к «очень грязным водоемам шестого класса качества с индексом загрязненности вод (ИЗВ) от шести до десяти». В этой связи «Мосводоканалом», «Мосводостокком» проводится системный локальный мониторинг качества вод Москвы-реки и ее притоков. Однако такие наблюдения требуют дополнительных изысканий и более полного анализа информации о водах Москвы-реки (с учетом загрязнения вод ее притоков в динамике), что и определило цель авторских экологических исследований в 2010–2014 гг.

Объекты исследований

Изучены поверхностные воды Москвы-реки до мегаполиса, в центре и за пределами города Москвы. Площадь бассейна Москва-реки составляет 17640 км². В верхнем течении ширина реки изменяется от 2 до 10 м, в черте российской столицы она составляет примерно 100 м, а в устье — 150 м. От истока к устью увеличивается и глубина реки: около Звенигорода она составляет 1,5 м, а в устье, у города Коломны, — 5 м. Протекая по равнинным ландшафтам южной тайги, в Москва-реку впа-

дает ряд крупных притоков (Руза, Истра, Пахра, Северка и др.), вода которых в той или иной мере уже загрязненная. Водохранилища руслового типа, сооруженные на реке, играют исключительно важную роль в снабжении города Москвы водой. Так, в 1959 г., недалеко от Можайска, было создано Можайское водохранилище, имеющее ширину 1–3 км и глубину 5–10 м. В 1966 г. было создано Рузское водохранилище. Его площадь достигает 3270 га, длина — 36 км, ширина — 0,5–2 км, а глубина водохранилища в среднем достигает 6–7 м. Озернинское водохранилище также предназначено для водоснабжения столицы. Его площадь составляет 2300 га, длина — 29 км, ширина местами достигает 3 км. На территории этого водохранилища оборудовано множество лодочных станций. Истринское водохранилище было создано в 1935 г.: длина — 28 км, площадь — 3360 га, средняя глубина водохранилища — 6 м.

Методы исследований

Отбор проб воды проводили согласно ГОСТ. Катионы железа, меди, марганца, аммония, нитритные анионы в речных водах определяли с помощью фотоэлектроколориметрического метода на приборе КФК-3; БПК — по методу Винклера; фенолы — флюориметрическим методом на Флюорате 02-3М; нефтепродукты — ИК-спектрометрическим методом на приборе КН-2; цинк — вольтамперометрическим методом; pH — потенциометрически. Были использованы методы в соответствии с ГОСТ в сертифицированной лаборатории. Результаты анализов вод апробированы с помощью метода вариационной статистики [4, 9].

Результаты и их обсуждение

Установлено, что 83 км Москвы-реки (из общих 478 км), которые проходят в столице, успевают масштабно загрязниться промышленными стоками, что сказывается на ее неблагоприятном экологическом состоянии и качестве воды. Обстановку обостряют Курьяновская и Люберецкая станции аэрации, расположенные на «выходе» из города. Эти станции из-за устаревшего оборудования не справляются с очисткой воды. Почему так происходит? В известной мере это связано со следующими социально-экономическими факторами.

В последние 70 лет мощная антропогенная нагрузка на подмосковные малые реки возросла особенно сильно, поскольку в 1918–1923 гг. промышленными рубками были охвачены массивы лесов в 30-верстной зоне вокруг столицы. За годы Отечественной войны Подмосковье потеряло еще пятую часть площади своих лесов [3, 7, 8]. Все эти масштабные процессы уменьшили водоносность рек и увеличили их загрязнение тонкодисперсными частицами, органическими веществами и тяжелыми металлами. Большое отрицательное воздействие на реки столичного региона оказала также разработка и массовое осушение болот в Тверской, Московской и Владимирской областях. Последствия этих масштабных мероприятий остро ощущаются до сих пор: бассейн реки Волга существенно обмелел, торфяники горят, что весьма негативно сказывается и на прилегающих аграрных ландшафтах и подземных водах.

Мощное негативное воздействие на малые реки в черте города оказало градостроительство. Около 90 малых рек Москвы заключены в подземные галереи и трубы (рис. 1), а общая протяженность всех 150 подземных и наземных малых рек достигает 400 км. Воды рек подвержены в столице техногенному воздействию

промышленности (сточные воды), водного и автотранспорта, антигололедных реагентов. На малые реки в Подмоскowie, в частности, влияют значительная распаханность ландшафтов (53–64%), «чистые пары» и животноводческие комплексы. Они приводят к эрозии почвенного покрова и загрязнению вод родников, ручьев, прудов и озер. За последние годы в Москве было засыпано более 100 прудов с площадью зеркала около 170 га. На их месте построены здания, проложены улицы, почвы которых «запакованы» асфальтом. Летом, при температуре более 30°C, из асфальта в воздух активно выделяются бенз(а)пирен, фенол, формальдегид и иные токсиканты. Таким образом, налицо недооценка значения небольших водоемов в создании ландшафтно-архитектурного облика столицы и обустройстве комфортных зон отдыха для людей (кроме известных лесопарков: Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Измайловского, парка Лосиный остров и др.).



Рис. 1. Слева — исток Москвы-реки из верхового болота в Подмоскowie; справа — одна из подземных галерей, в которые упрятаны многие реки в мегаполисе

Воды малых рек (Яузы, Сходни...) заметно загрязняют акваторию Москвы-реки в черте города. Например, в воде реки Яуза, как одном из самых загрязненных притоков, концентрация нефтепродуктов, железа и аммония превышает нормативы в 50–100 раз (рис. 4–10). Ниже впадения Яузы в Москву-реку качество воды резко ухудшается: в 3 раза повышается содержание нефтепродуктов, на порядок — бактериальное загрязнение, в 6–8 раз — содержание взвешенных веществ. Поэтому воды Москвы-реки ниже города не могут быть использованы ни в хозяйственно-бытовых, ни в рекреационных целях. Кроме того, промышленными предприятиями столицы ежесекундно сбрасывается более 73 м³ плохо очищенных промышленных стоков — столько же, сколько выносит и Москва-река при выходе из столицы.

Косвенным показателем низкого экологического качества воды в Москве-реке являются величины концентрации ионов водорода — pH (рис. 2). При норме pH 6,8–7,6 величины pH сдвинуты в слабощелочной интервал, в частности, в летний сезон, — очевидно, вследствие сброса синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ): моющих средств, содержащих фосфор. Визуально это проявляется в наличии пены на поверхности воды.

Отметим еще один важный нюанс. Анализ картосхемы, где расположены места свалок в Подмоскowie, показывает, что их большинство (почти 80%) расположено

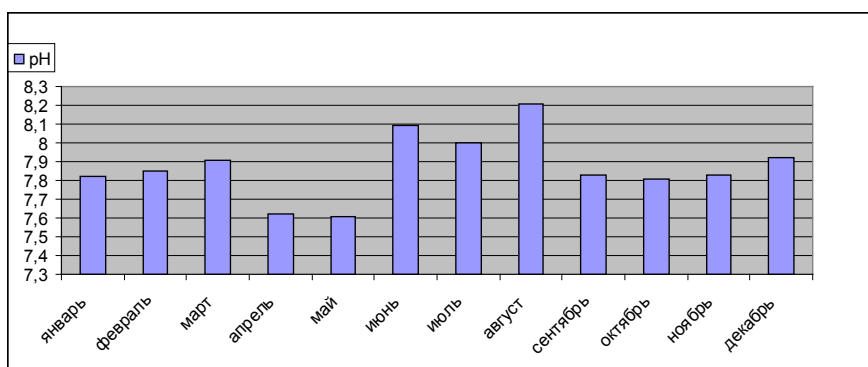


Рис. 2. Сезонная динамика средних значений pH воды в Москве-реке за 2010–2013 гг.

в поймах малых рек и в придолинных ландшафтах (рис. 3). Это приводит к масштабному химическому загрязнению плодородных аллювиальных почв (и овощной продукции) и поверхностных вод. Непонятно одно: кто же контролирует эту опасную экологическую ситуацию в Подмоскowie и почему так происходит? Ведь свалки должны располагаться на плакорах увалов, на мощных суглинистых породах, а не в поймах рек.

При значительном и продолжительном загрязнении сточными водами в воде Москвы-реки заметно изменяются процессы жизнедеятельности водных организмов (гидробионтов и рыбы); большая часть растворенного в воде кислорода расходуется на окисление органических веществ (включая и СПАВы): водоток реки превращается, образно говоря, в «канализационный коллектор», ухудшая эстетический облик столичной реки. Прогулки людей на катерах и пассажирских судах утрачивают былую привлекательность.

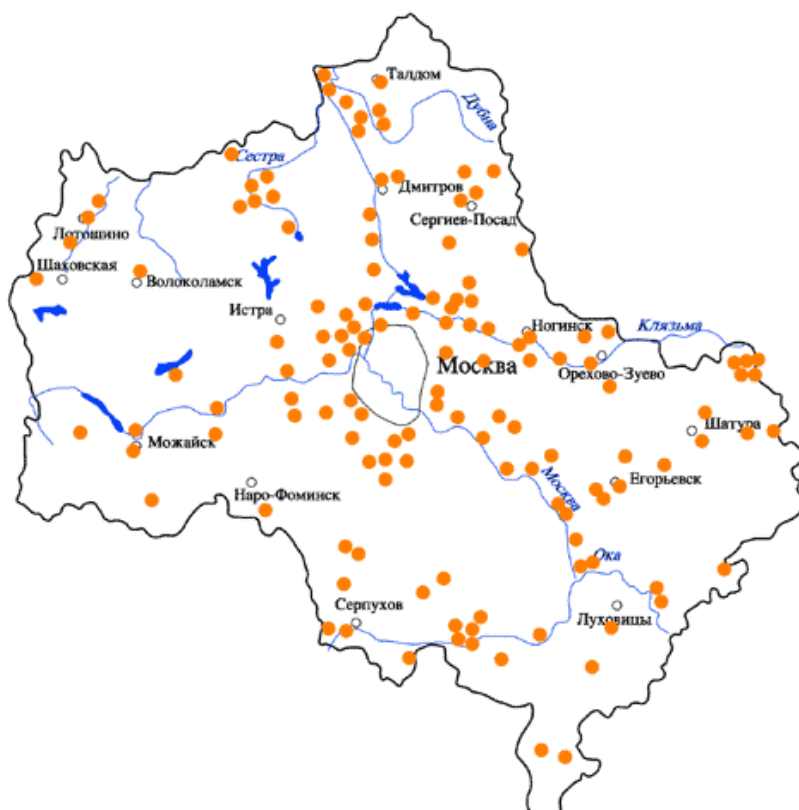
Качество воды в Москве-реке в пределах города и ниже по течению — низкое. Это обусловлено тем, что соотношение сточных и природных вод близко к 2:1, т.е. сточных вод больше, чем природных [1, 5, 12]. После очистки сточные воды не отвечают требованиям по содержанию органических веществ, нефтепродуктов, ионов аммония и тяжелых металлов.

Фенолы могут быть продуктами разложения нефтепродуктов (их низкокипящих фракций), а также гумусовых веществ почвы (рис. 4–6). Наибольшую опасность представляют эти соединения с хлором. При этом могут образовываться и диоксин-подобные вещества — суперэтокотоксиканты. Поэтому хлорирование вод при их водоподготовке в настоящее время не проводят. Наиболее загрязненными являются участки реки около районов Нагатино, Марьино и Капотня. В черте города Москвы выделяются три участка с разной степенью химического загрязнения речных вод:

1-й — от входа в город до Крымского моста (участок традиционно является наиболее экологически безопасным);

2-й — центральная часть города в пределах Садового кольца, где качество воды по нефтепродуктам и металлам заметно колеблется как в течение года, так и вдоль реки, здесь оно низкое;

3-й — участок нижнего течения реки, где Курьяновская станция аэрации приводит к увеличению концентрации биогенных элементов (аммония, нитритов, фос-



Основные известные свалки на территории Московской области.

Ежегодно в области образуется 6 млн. куб. м бытовых отходов и свыше 1,4 млн. куб. м промышленных отходов. Кроме того, из Москвы в область вывозится свыше 9 млн. куб. м бытовых и 1 млн. тонн промышленных отходов, включая 55 тыс. тонн токсичных.

Рис. 3. Большинство свалок в Подмоскowie незаконно размещено в поймах рек. Это приводит к активному химическому загрязнению плодородных аллювиальных почв (и растениеводческой продукции), а также грунтовых и речных вод (к 2013 г. эта ситуация не изменилась)

фатов), а также нефтепродуктов часто заметно выше значений ПДК. Однако параметр ПДК ориентировочный: неясно, о какой воде идет речь. Требуется унификация данного параметра. Методология экологической оценки загрязнения поверхностных вод разработана неполно и требует экспериментального обоснования.

Концентрация ионов железа в воде Москвы-реки приведена на рисунках 7, 8. Наличие соединений железа в поверхностных водах свидетельствует о процессах деградации гумусовых веществ почв и эрозии почвенного покрова.

Динамика концентраций соединений железа в воде Москвы-реки указывает на устойчивый аккумулятивный тренд данного химического элемента: ситуация в ланд-

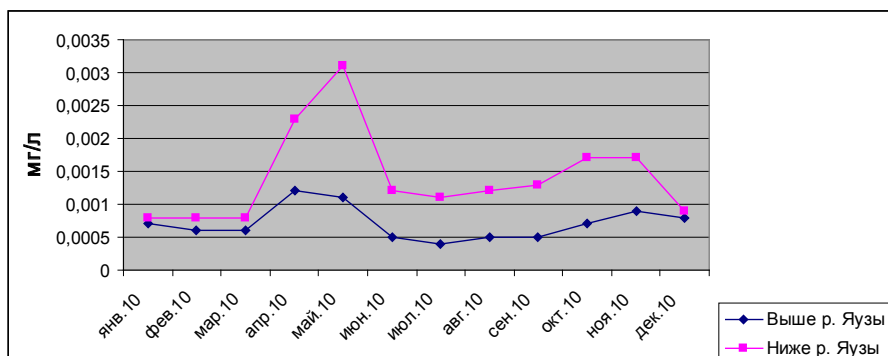


Рис. 4. Концентрация фенолов в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2010 г.

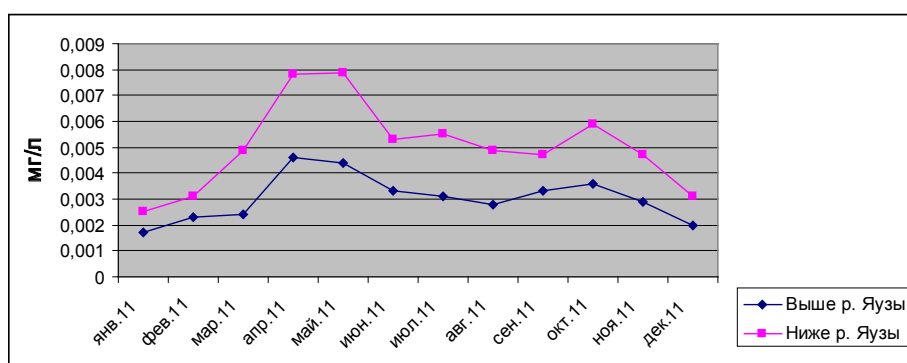


Рис. 5. Концентрация фенолов в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2011 г.

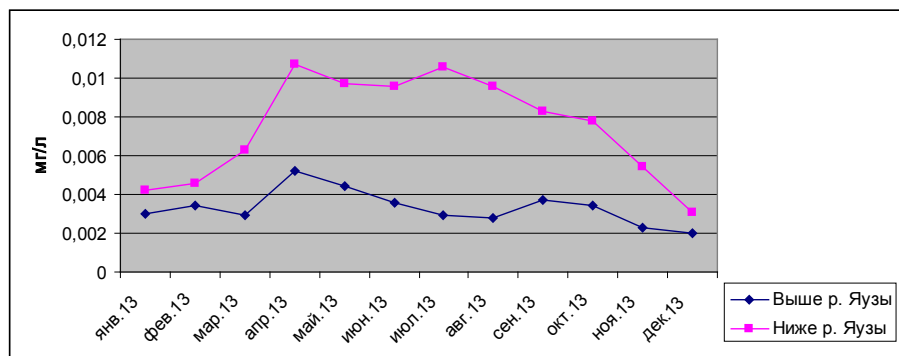


Рис. 6. Концентрация фенолов в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2013 г.

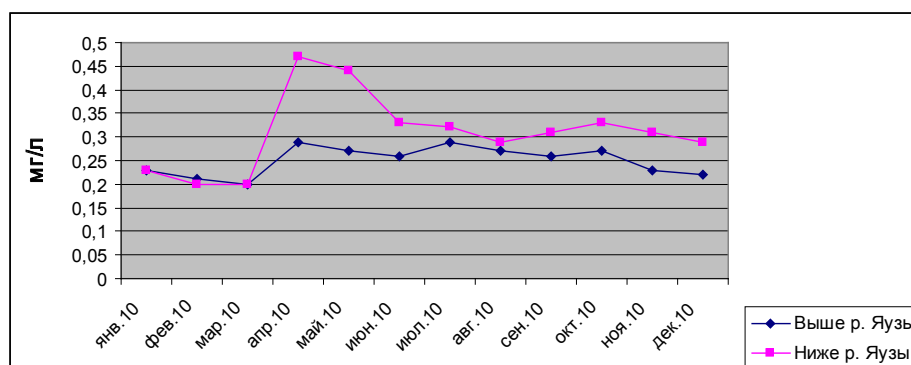


Рис. 7. Концентрация ионов Fe(III) в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2010 г.

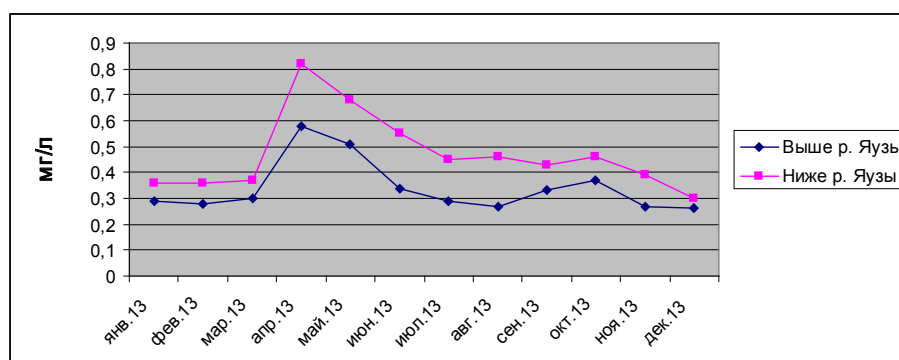


Рис. 8. Концентрация ионов Fe(III) в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2013 г.

шафтах, окружающих речные бассейны рек, постепенно ухудшается. Это связано также с пожарами, рубками леса и незащищенностью почв биотой.

Концентрация ионов аммония в речных водах приведена на рисунках 9, 10. Загрязнение поверхностных вод Москвы-реки ионами аммония устойчивое. Оно связано как с неочищенными стоками (ниже Курьяновской станции аэрации — КСА), так и со смывом удобрений с полей в местные базы эрозии при их нерациональном внесении. Динамика концентрации ионов аммония в речных водах имеет благоприятный тренд: в сравнении с 2010 г., когда в воде диагностировалось 10,3 мг/л ионов NH_4^+ , в 2013 г. отмечено только 2,6 мг/л ионов аммония.

Сезонная динамика биологического потребления кислорода (БПК) имеет два выраженных максимума: весной, т.е. в период наиболее интенсивного поступления талых вод, и осенью, в период активного выпадения атмосферных осадков и поступления их в реки (рис. 10, 11). При этом в 2013 г. отмечен сдвиг БПК в осенний период, что обусловлено спецификой водного баланса ландшафтов и почв (и выпадением осадков).

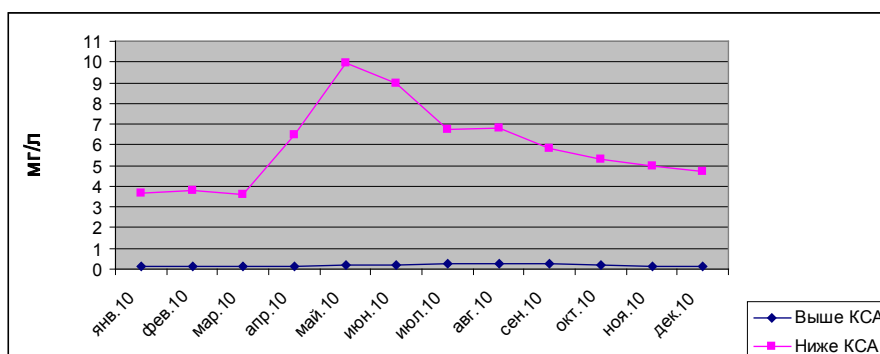


Рис. 9. Концентрация аммонийного азота в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2010 г.

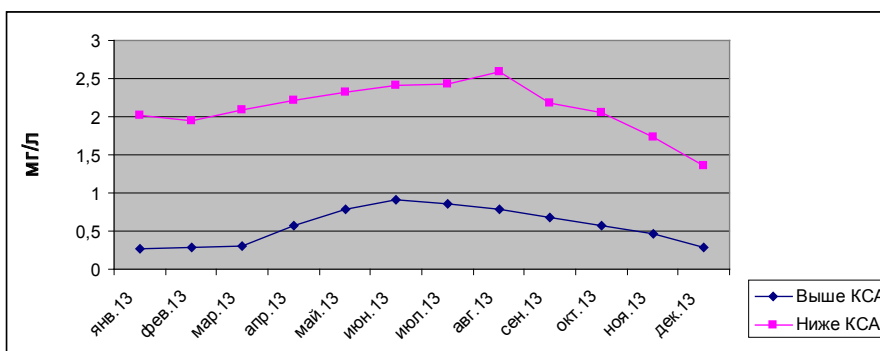


Рис. 10. Концентрация аммонийного азота в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2013 г.

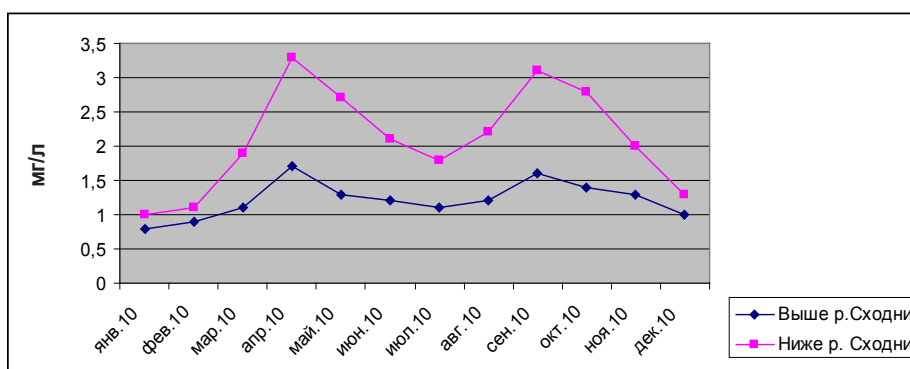


Рис. 11. Изменение концентрации биологического потребления кислорода в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2010 г.

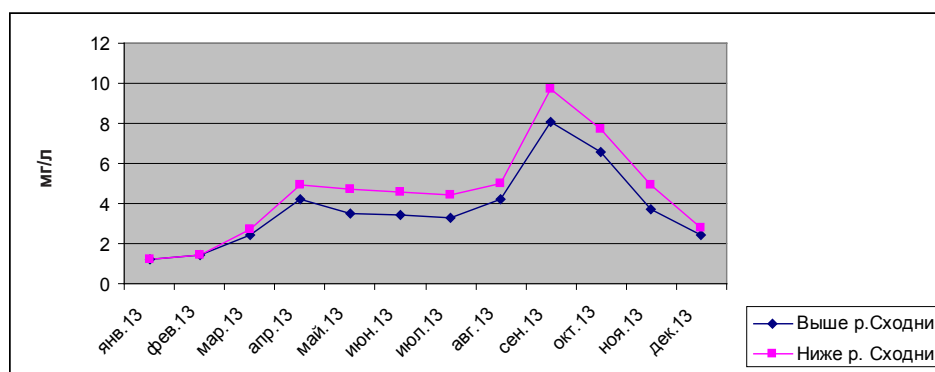


Рис. 12. Изменение концентрации биологического потребления кислорода в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2013 г.

Максимальные количества нефтепродуктов в речных водах наблюдались ежегодно в период весеннего половодья и в осеннюю межень. По-видимому, сбросы нефтепродуктов попадают в Москву-реку преимущественно с поверхностными водами и плохо очищенными стоками (рис. 13–17). Так, в воде р. Сходня концентрация нефтепродуктов варьировала в сезонном и годовом циклах в пределах 0,24–0,43 мг/л с заметным уменьшением концентрации экотоксиканта в 2012 г. — 0,15 мг/л. Наиболее активное загрязнение Москвы-реки вызывают воды реки Яузы. До впадения этой реки концентрация нефтепродуктов в воде заметно меньше, чем ниже по течению.

Нефтепродукты способствуют формированию на поверхности водоема очень тонкой «радужной» пленки (такие пятна нередки на воде), которая резко уменьшает кислородный обмен на границе «Воздух–вода». Поэтому часто ощущается дефицит кислорода в воде, опасный для биоты: рыбы, рачков.

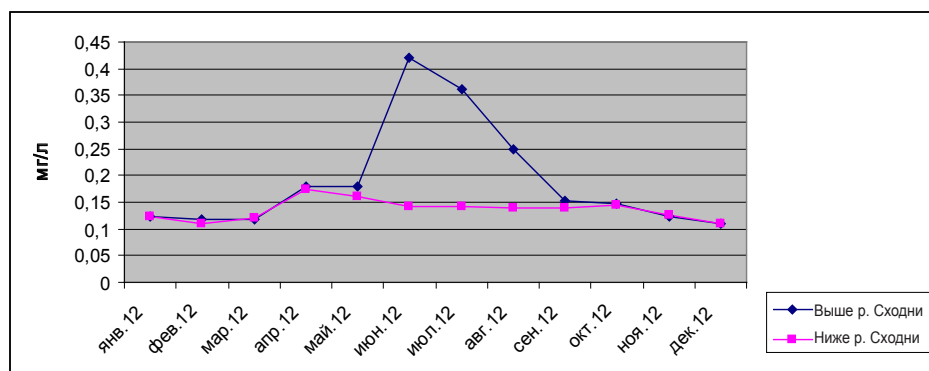


Рис. 13. Концентрация нефтепродуктов в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2012 г.

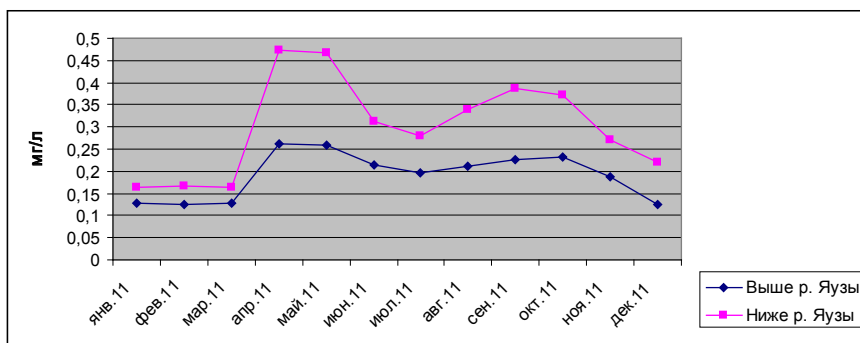


Рис. 14. Концентрация нефтепродуктов в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2011 г.

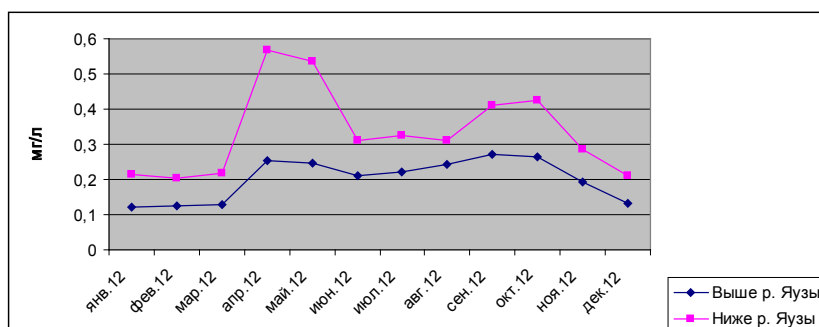


Рис. 15. Концентрация нефтепродуктов в контрольных створах р. Москвы в пределах г. Москвы в 2013 г.

Нефтепродукты, попавшие в речные воды, содержат различные классы органических веществ, отличающихся по токсичности, устойчивости к осаждению и способности к дальней водной миграции. Наиболее опасными для биоты являются легколетучие фракции нефти. Тяжелые компоненты нефтепродуктов довольно быстро осаждаются, образуя на дне реки черные вязкие сгустки. Постепенно вещества сгустков (смолы, воск, гудрон и иные ароматические вещества гидрофобного характера) трансформируются, загрязняя воду и донные осадки. Их экотоксическое действие пролонгировано. Данные вещества весьма негативно влияют на жизнедеятельность рачков-фильтраторов воды и иных гидробионтов. Очистка речной воды гидробионтами заметно ухудшается. Получается двойное негативное воздействие нефтепродуктов на качество воды и биоту: сверху образуется пленка поверхностно-активных веществ, затрудняющих воздухообмен, а снизу — в донных осадках — накапливаются гидрофобные органические вещества (экотоксиканты) пролонгированного действия (таблица).

Притоки Москвы-реки загрязнены многими химическими элементами. Результаты опытов, приведенные в таблице, указывают на активную динамику гидро-

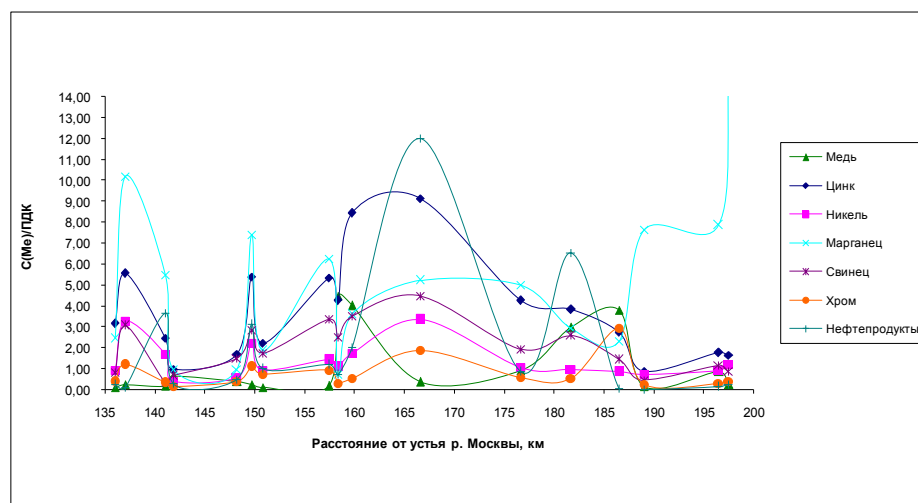


Рис. 16. Загрязненность донных осадков Москвы-реки ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами в черте г. Москвы (отбор проб — июль 2010 г.)

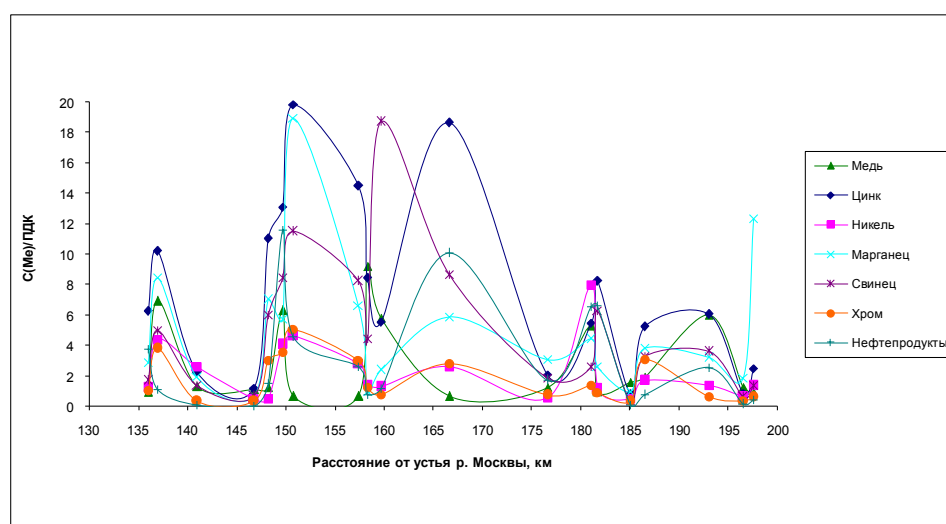


Рис. 17. Загрязненность донных осадков Москвы-реки ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами в черте г. Москвы; отбор проб — июль 2012 г. Сведения по загрязнению донных осадков на рисунках 16, 17 соответствуют следующим точкам отбора проб: 136 км — 100 м выше Бесединского моста; 137 км — устье р. Городни; 141 км — 200 м ниже Братеевского моста; 146,8 км — ниже ОКСА; 148 км — выше ОКСА; 149,7 км — устье р. Нищенки; 150,8 км — выше Перервинской плотины; 157,4 км — р-н ЗИЛА; 158,3 км — 5 м ниже устья р. Котловки; 159,7 км — 20 м ниже устья р. Чуры; 166,6 км — 20 м ниже устья р. Яузы; 176,6 км — 20 м ниже устья р. Сетунь; 181,7 км — 20 м ниже устья ручей Ваганьковский Студенец; 186,5 км — 5 м ниже устья р. Таракановки; 189 км — 200 м выше шлюза № 9; 196,5 км — ниже устья р. Сходни; 197,5 км — выше устья р. Сходни

Концентрации растворимых веществ (мг/л) в притоках Москвы-реки за 1–3 кв. 2014 г.

Анализируемые вещества и (х.э.)	Исследуемые створы притоков Москвы-реки															
	ниже п. Рублево				Спасский мост				ниже Сходни				выше Сетуни			
	0,13	0,18	0,16	0,33	0,27	0,35	0,21	0,22	0,2	0,21	0,22	0,27	0,21	0,22	0,27	0,19
NH ⁴⁺	0,13	0,18	0,16	0,33	0,27	0,35	0,21	0,22	0,2	0,21	0,22	0,27	0,19	0,21	0,27	0,34
NO ²⁻	0,09*	0,12	0,09	0,12	0,13	0,07	0,08	0,24	0,14	0,09	0,24	0,082	0,082	0,21	0,105	
NO ³⁻	1,8	3,3	3,3	1,3	4	0,89	4	2,1	1,3	1,3	2,1	2,2	1,8	2,5	2,2	
Fe	0,1	0,11	0,08		0,14	0,09		0,23	0,11		0,23	0,189		0,216	0,207	
Mn		0,06	0,04		0,05	0,04		0,06	0,04		0,06	0,038		0,051	0,037	
Cu		0,001	0,003		0,001	0,003		0,003	0,003		0,003	0,0035		0,002	0,0053	
Zn		0,005	0,005		0,005	0,005		0,006	0,005		0,006	0,005		0,0064	0,006	
Ni		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,0018	
Pb		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001	
Co		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001	
Al	0,04	0,08	0,07		0,08	0,05		0,15	0,09		0,15	0,134		0,147	0,147	
Фенол	0,003	0,005	0,009	0,003	0,005	0,01	0,002	0,006	0,009	0,003	0,006	0,009	0,003	0,006	0,007	
Формальдегид	0,05	0,02	0,02	0,048	0,02	0,02	0,022	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,041	
Ан. ПАВ	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,025	0,025	0,038	0,025	
S-	0,003	0,002	0,002	0,005	0,002	0,003	0,004	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	

As		0,008	0,005		0,005		0,005	0,005		0,005		0,005		0,005		0,005	0,005
Cr		0,001	0,001		0,001		0,001	0,001		0,001		0,001		0,001		0,001	0,001
Ca		52,1	59,1		50,3		58,6			40,4		53,7		40,4		49,7	53
Mg		13,5	17,1		13,9		17,2			11		16		11		14,7	15,9
K		2,6	3,09		2,7		3,27			2,6		3,17		2,6		3,19	3,51
Cr ⁶⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
°C	23,4	18,9	14,1	23,1	19,8	15,2	22,3	25,0	15,5	27,3	25,0	17,8	25,1	22	16,6		
F-	0,28	0,12	1,3	0,36	0,3	0,3	0,26	0,46	0,35	0,1	0,46	0,27	0,1	0,25	0,36		
Na		10,9	14,3		11,3	14,9		11,7	14,3		11,7	15,6		14,5	17,6		
Mo		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,0014		0,001	0,0015		

химического состава вод Москвы-реки в пределах изучаемых створов. Это связано с турбулентностью водных потоков, причем наряду с экотоксикантами в речные воды сбрасываются «залповые» стоки, имеющие повышенную температуру. Это характерно для р. Сетунь, Сходня и участка вблизи п. Рублево, где в период отбора проб воды ее температура варьировала в пределах 23,1–27,3°C. В речных водах преобладают педогенные химические элементы: кальций, магний, калий, натрий. Концентрация растворимых в воде форм тяжелых металлов низкая. В речных водах отмечена повышенная концентрация нитрат-анионов и аммонийных катионов, которые совместно с фосфатами способствуют эвтрофикации стариц Москва-реки.

Донные осадки Москвы-реки заметно загрязнены тяжелыми металлами и нефтепродуктами (рис. 16, 17). Среди первых преобладают марганец и цинк. Анализ данных литературы показывает, что экологическая ситуация по загрязнению донных осадков в настоящее время по сравнению с 2012 г. не улучшилась, хотя известно, что зимой «Мосводоканал» и «Мосводосток» периодически открывают шлюзы на некоторых водохранилищах, и с помощью гидроудара промывается русло Москвы-реки [10, 13–15].

В качестве фоновых (незагрязненных) водных источников нами были выбраны два водоема Центрально-лесного биосферного заповедника в Тверской области: река Межа (в 200 м от конторы) и Большой пруд у д. Федоровское. Отбор проб воды был проведен 27.08.2015 г. Экологический мониторинг в лесных, луговых и полевых ландшафтах, а также водных экосистем, нами в заповеднике проводится с 2011 г. Почвенный покров заповедника контрастный. Широко распространены, в частности, дерново-подзолы контактно-осветленные супесчаные на двучленных отложениях в южно-таежных лесах. Для них характерна почти провальная водная миграция органических веществ и различных форм соединений железа (рис. 18) [17, 19].

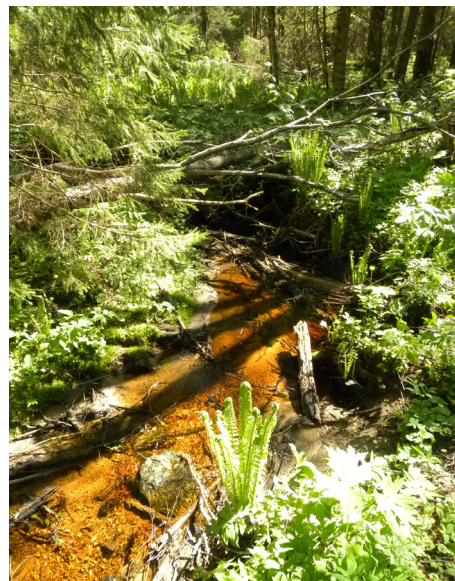
В водах реки Межа и Большого пруда (местные базисы эрозии) была соответственно выявлена следующая концентрация химических соединений (мг/л): железа $0,87 \pm 0,17$ и $1,79 \pm 0,27$ (ПДК — 0,3 мг/л); нитратов — $0,7 \pm 0,13$ и $0,43 \pm 0,08$ (ПДК — 45 мг/л); pH — $7,4 \pm 0,2$ и $7,1 \pm 0,2$ (ПДК — $7,5 \pm 1,0$); марганца — $0,13 \pm 0,1$ и менее 0,001 (ПДК — 0,1 мг/л); алюминия — $0,01 \pm 0,2$ и $0,09 \pm 0,2$ (ПДК — 0,2 мг/л); цинка — $0,61 \pm 0,09$ (ПДК — 1,0 мг/л); общая минерализация (сухой остаток) составила 381 ± 34 и 55 ± 10 (ПДК — 1000 мг/л); химическое потребление кислорода (ХПК) — $10,4 \pm 2,5$ и $28,8 \pm 6,9$ (ПДК — 30 мг/л); биохимическое потребление кислорода — $12,4 \pm 1,6$ и $16,0 \pm 2,1$ (ПДК — 4,0 мг/л); нефтепродукты в воде не обнаружены.

Таким образом, поверхностные воды Центрально-лесного биосферного заповедника только по концентрации соединений железа и биохимическому потреблению кислорода превышают показатели ПДК. На наш взгляд, это связано с активным продуцированием органических кислот и фульвокислот из мощных лесных подстилок микроорганизмами. В профилях подзолов, развитых на двучленных почвообразующих породах, органические кислоты мобилизуют в растворимое состояние соединения железа, которые при нисходящей водной миграции поступают в грунтовые, а затем и речные воды. Данный процесс реализуется очень активно вследствие сезонного избыточного увлажнения лесных почв.

В целом поверхностные воды заповедника экологически безопасны. Воды Москвы-реки содержат меньше соединений железа и органических веществ (за исключением искусственных компонентов — нефтепродуктов, формальдегида и фенолов).



А



В

Рис. 18. А — профиль дерново-подзола контактно-осветленного супесчаного на двучленных отложениях в сложном ельнике, на плакоре увала, квартал 95 ЦЛГПБЗ; В — одна из многочисленных лесных речушек, впадающих в реку Межа: воды ее притоков заметно обогащены органическими и органоминеральными соединениями, поэтому имеют интенсивно желтовато-бурый цвет, но прозрачные и без запаха (фото И.М. Яшина, 2012, 2013 гг.)



Рис. 19. Заболоченная пойма и русло реки Межа в Центрально-лесном биосферном заповеднике Тверской области (в 32 км к северу от г. Нелидово), май 2014 г.

Выводы

1. Установлено, что наиболее активное загрязнение экотоксикантами (нефтепродуктами, фенолами, ионами аммония и железа) вод Москвы-реки происходит около Нагатино, Марьино и Капотня. Выявлена сезонная и годовая флуктуация концентрации экотоксикантов в воде.

2. Экологическую ситуацию «обостряют» Курьяновская и Люберецкая станции аэрации, расположенные на «выходе» из столицы. Эти станции должны основательно очищать промышленные и бытовые стоки; однако экологическое качество воды оказывается низким. Очевидно, указанные станции не справляются с возросшими объемами стоков и требуют модернизации оборудования.

3. Динамика концентраций соединений железа в водах Москвы-реки указывает на устойчивый аккумулятивный тренд данного химического элемента. Это значит, что экологическая ситуация в ландшафтах и почвах, окружающих речные бассейны рек в Подмоскovie, постепенно ухудшается, чему способствуют усиливающаяся эрозия почв, рубки лесов и жилые постройки в водоохранных зонах рек, водохранилищ, а также большое число неконтролируемых свалок в поймах рек: наблюдается химическое загрязнение почв, овощной продукции и грунтовых вод.

4. Максимальные количества нефтепродуктов в речных водах наблюдались ежегодно в период весеннего половодья и в осеннюю межень. По-видимому, сбросы нефтепродуктов попадают в воды Москвы-реки преимущественно с поверхностными водами и плохо очищенными стоками. Воды ЦЛГПБЗ экологически безопасные, но обогащены мобильными формами железа и органических веществ.

5. Установлено заметное преобладание величин ХПК (химического потребления кислорода в воде) над БПК (биологическим потреблением кислорода), что указывает косвенно на присутствие значительного количества органических веществ не только педогенной, но и антропогенной природы (моющие средства, нефтепродукты, СПАВы).

Библиографический список

1. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем // Труды ЗИН. Т. 283. СПб.: Наука. 2000. 147 с.
2. Андреева Е.Е. Гигиеническая оценка качества воды поверхностных водоемов города Москвы // Профилактическая и клиническая медицина. 2014. № 3 (52). С. 51–57.
3. Воронина Е.О. Экологическое состояние водных объектов Москвы // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 12. С. 17–21.
4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 336 с.
5. Елецкая А.Ю., Барабаш Ю.А., Тихонова И.О. Экологическое обследование малых рек, г. Москва — р. Серебрянка // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28. № 5 (154). С. 18–21.
6. Карпухин А.И., Яшин И.М., Черников В.А. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов // Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. С. 107–126.
7. Кауричев И.С., Фокин А.Д., Аргунова В.А., Яшин И.М. Состав органического вещества, состояние R_2O_3 и фосфатов в водах, дренирующих подзолистые почвы // Известия ТСХА. 1973. Вып. 2. С. 99–105.
8. Касимов Н.С., Перельман А.И. Геохимические принципы эколого-географической систематики городов // Вестник МГУ. Сер. География. 1993. № 3. С. 16–21.

9. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа воды. М.: Химия, 1971. 375 с.
10. Мусатов А.П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов. М.: Научный мир. 2001. 191 с.
11. Петрухин В.А. Фоновое содержание Pb, Hg, As, Cd в природных средах (по мировым данным) // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. Вып. 3. С. 3–27.
12. Постников Д.А., Чинина Н.В. Локальный мониторинг водной экосистемы Бутаковского залива г. Химки // Известия ТСХА. 2004. Вып. 1. С. 40–47.
13. Ростанец Д.В., Хазанова К.П., Хромов В.М. Проблемы использования фитопланктона в гидробиологическом мониторинге рек высоко урбанизированных территорий (на примере реки Москвы) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3–2. С. 677–684.
14. Учеваткина Н.В., Базаева М.Г., Нефедкин С.И. Определение критических нагрузок на реку Москву // Экология промышленного производства. 2006. № 3. С. 24–27.
15. Черников В.А., Соколов О.А., Байбеков Р.Ф. Экологические основы качества воды и здоровья человека // Пушкино: ОНТИ ПНИЦ РАН. 2004. 192 с.
16. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М.: МСХА, 2003. 316 с.
17. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. 183 с.
18. Яшин И.М., Каишанский А.Д. Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 202 с.
19. Яшин И.М., Гареева И.Е., Атенбеков Р.А., Васенев И.И. Экологический мониторинг воздействия антропогенеза на поверхностные воды. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 167 с.
20. Яшин И.М., Васенев И.И., Рикардо Валентини, Черников В.А. Методические указания по диагностике органического углерода, азота, нефтепродуктов и состава гумусовых веществ почв. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 131 с.
21. Andreas N. Grohmann, Martin Jekel, Andreas Grohmann u.a. Wasser: chemie, mikrobiologie und nachhaltige Nutzung. Berlin-New York, 2011. 368 pp.
22. Bade K., Manz W. und Szewzyk U. Behavior of sulfate reducing bacteria under oligotrophic conditions and oxygen stress in particle-free systems related to drinking water. FEMS Microbiol. Ecol. 32. 2000. 215–223 pp.
23. Garbrecht G. Wasser — Vorrat, Bedarf und Nutzung in Geschichte und Gegenwart. Taschenbuch. 1985.
24. Luhr H.-P. Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 2001. Berlin.

ECOLOGICAL MONITORING OF THE MOSKVA RIVER WATERS IN METROPOLITAN AREA

I.M. YASHIN¹, I.I. VASENEV¹, I.V. GAREEVA², V.A. CHERNIKOV¹

(¹ Russian Timiryazev State Agrarian University;

² Center of State Sanitary and Epidemiological Surveillance in Moscow)

The article reviews the results of field and laboratory investigations of water quality of Moskva River conducted in every season for the period from 2010 to 2014. Water probes were taken at the stations located before the megalopolis border starts, than in the city center and, finally, at the place where the river waters flow outside the city limits. As a result, there was recorded persistent

pollution of the Moskva River waters by iron ions, phenols, oil products, ammonium ions and other ecotoxicants, which deteriorates dramatically ecological safety and quality of water within the limits of Moscow megalopolis.

Key words: water, Moscow River, confluents, oil products, phenols, heavy metals, ammonium, nitrites, biochemical oxygen demand, ecological security of drinking water.

Яшин Иван Михайлович — д. б. н., проф. кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 41; тел.: (499) 976-45-60; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com).

Васенев Иван Иванович — д. б. н., проф., зав. кафедрой экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 41; тел.: (499) 977-04-86; e-mail: ivvasenev@gmail.com).

Гареева Ирина Викторовна — эксперт-эколог ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» (129626, г. Москва, Графский переулок, д. 4/9; тел.: (495) 615-51-63; e-mail: irina-gareeva21@mail.ru).

Черников Владимир Александрович — д. с.-х. н., проф. кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 41; тел.: (499) 976-45-60; e-mail: 4ernikov@gmail.com).

Yashin Ivan Mikhailovich — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel.: +7 (499) 976-45-60; e-mail: ivan.yashin2012@gmail.com).

Vasenev Ivan Ivanovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Head of the Laboratory of Agro-Ecological Monitoring, Ecosystem Modeling and Prediction, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 977-04-86, e-mail: ivvasenev@gmail.com).

Gareeva Irina Viktorovna — expert ecologist, Center of State Sanitary and Epidemiological Surveillance in Moscow (129626, Moscow, Grafskiy lane, 4/9; tel.: +7 (495) 615-51-63; e-mail: irina-gareeva21@mail.ru).

Chernikov Vladimir Aleksandrovich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-45-60; e-mail: 4ernikov@gmail.com).

УДК 577.15.02:664.66

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ
ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ИНУЛИНА
ИНУЛИНАЗОЙ *BACILLUS POLYMYXA* 29**И.В. МАЖУЛИНА¹, Т.Н. ТЕРТЫЧНАЯ¹, А.А. ШЕВЦОВ²

(¹ Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I;
² Воронежский государственный университет инженерных технологий)

Использование инулиназ открывает широкую перспективу получения чистых фруктозных сиропов из растительного сырья — инулина, а не из крахмала. Выход фруктозы достигает 90–95%. Фруктоза становится все более востребованной в пищевых технологиях как более безопасная для здоровья человека альтернатива сахарозе, которая способствует возникновению атеросклероза, ожирения, кариеса и диабета.

*Разработан способ управления биотехнологией получения ферментных препаратов на базе парокомпрессионного теплового насоса, направленный на повышение энергетической эффективности и экологической безопасности процессов ферментации, ультрафильтрации и вакуум-сублимационной сушки. Для исследований выбран продуцент инулиназы *Bacillus polymyxa* 29, выращенный глубинным способом. С точки зрения биотехнологии особый интерес представляют такие важные физико-химические факторы среды, как активная кислотность и температура. В этой связи проводили исследования кислотной и термической инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 соответственно в диапазоне pH и температуры 4,0–8,0 и 20–80°C. Оптимальными условиями для действия инулиназы являются pH 7,0 и температура 40°C. При этих условиях активность фермента за 120 ч снижалась на 25,0% и на 55,0% при pH 6,0. Оптимальными параметрами ферментативного гидролиза инулина следует считать pH 7,0, температуру 40°C, продолжительность 8 ч и дозировку инулополимерина 8 ед/г инулина; степень гидролиза инулина составляет 92,0%.*

Ключевые слова: ферментный препарат, инулиназа, кислотная и термическая инактивация, ферментативный гидролиз, инулин.

Основами государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 г. ставится задача модернизации и интенсификации перерабатывающей промышленности с целью обеспечения продовольственной безопасности страны за счет развития фундаментальных исследований

в области современных биотехнологических способов получения продукции повышенной пищевой ценности с новыми функционально-технологическими свойствами [4].

Одним из перспективных направлений совершенствования процессов переработки растительного сырья является биоконверсия с использованием ферментных препаратов, применение которых позволяет существенно изменить, интенсифицировать и усовершенствовать существующие технологии хлебобулочных изделий как систему энергоэффективных процессов. Этому направлению посвящены работы Л.М. Аксеновой, В.Я. Черных, Т.Г. Богатыревой, А.Г. Гинзбурга, Г.О. Магомедова, Т.Б. Цыгановой, Н.М. Дерканосовой, Е.И. Пономаревой, С.Я. Корячкиной, Е.А. Кузнецовой, Л.И. Кузнецовой, И.В. Матвеевой, А.П. Нечаева, В.А. Николаевой, Л.И. Пучковой, Ю.Ф. Рослякова, Т.В. Савенковой, R. Lees и др. [1, 2, 6, 10, 11, 15, 17].

В последние годы возрос интерес к изучению инулиназ. Микробные инулиназы гидролизуют инулин до фруктозы и фруктоолигосахаридов в более мягких условиях по сравнению с кислотным гидролизом [5, 12, 13].

Кислотный гидролиз связан с использованием химических реактивов, неизбежно попадающих в конечные продукты. Жесткие условия (температура 80–100°C и pH 1–2) дают возможность ускорить процесс, но при этом наблюдаются значительные потери фруктозы за счет разложения с образованием фенолов, дегидродифруктозангидрата.

Для проведения процесса необходимо специальное кислотоустойчивое оборудование с антикоррозионным покрытием, соблюдение требований безопасности при работе с ним. Кроме того, несмотря на низкую стоимость кислот, процесс химического гидролиза инулина экономически невыгоден по причине значительных потерь фруктозы и высоких затрат на очистку сиропа от продуктов деградации фруктозы, придающих цвет и посторонний привкус, а также очистку от зольных элементов. Кислотный гидролиз также приводит к образованию дифруктозного ангидрида с концентрацией до 5,0%, который практически не обладает сладким вкусом [13].

При воздействии инулиназы на инулин происходит образование преимущественно D-фруктозы и незначительного количества глюкозы. Фруктоза — это самый сладкий из известных природных сахаров. Фруктоза слаще сахарозы в 1,73 раза в зависимости от условий измерения степени сладости (температура, pH, концентрация и т.д.), она значительно лучше растворяется в воде.

Использование инулиназ открывает широкую перспективу получения чистых фруктозных сиропов непосредственно из растительного сырья, из инулина, а не из крахмала. Выход фруктозы достигает 90–95%.

Важным направлением применения микробных инулиназ является получение из инулина фруктоолигосахаридов, которые, по последним данным, обладают более высокой пребиотической активностью, чем высокомолекулярный инулин.

В научно-технической литературе отсутствуют научно обоснованные подходы к использованию фермента инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 для получения биомодифицированных продуктов с заданными технологическими свойствами и к их использованию в технологии хлебобулочных изделий повышенного качества и пищевой ценности.

Разработана энергоэффективная биотехнология получения технического препарата инулиназы с применением методов ультрафильтрации и вакуум-сублимационной сушки глубинной культуры бактерий *Bacillus polymyxa* 29.

Использованные научно обоснованные способы энергосбережения за счет рекуперации и утилизации вторичных энергоресурсов и замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам подтверждены патентами РФ № 2480520 и № 2484129 с применением пароконпресссионного и парозжекторного тепловых насосов [7, 8, 13, 14].

Методика исследований

Объектом исследований были чистые культуры микромицета — бактерий *Bacillus polymyxa* 29, имеющиеся на кафедре биохимии и микробиологии Воронежского государственного университета инженерных технологий. Выбор констатировался исследованиями скрининга инулиназы [3].

В отфильтрованной культуральной жидкости, полученной на основе глубинного культивирования микроорганизмов, определяли активность инулиназы полумикрометодом Бертрана, содержание сухих веществ рефрактометрическим методом [16]. В качестве субстрата использовали инулин фирмы *Merck* (Германия).

Результаты и их обсуждение

Инулиназа способствует превращению растительного полимера инулина в практически чистую фруктозу, или фруктоолигосахариды. Инулин накапливается как резервный полисахарид в таких сельскохозяйственных культурах, как артишок, цикорий, топинамбур, якон и др. Фруктоза становится все более востребованной в пищевых технологиях как более безопасная для здоровья человека альтернатива сахарозе, которая способствует возникновения атеросклероза, ожирения, кариеса и диабета.

Питательные среды готовили на водопроводной воде в колбах Эрленмейера объемом 500 см³, дважды автоклавировали (через 24 ч) при давлении 0,1–0,12 МПа в течение 1 ч, охлаждали до 32–33°C и засеивали водно-споровой суспензией бактерий в количестве 1% к объему питательной среды. Выращивание продуцента проводили на лабораторной качалке при скорости 1,7–1,8 с⁻¹, температуре 32–35°C в течение 72 ч [3].

В качестве источника углерода рассматривали глюкозу, фруктозу, ксилозу, сахарозу, мальтозу, лактозу, раффинозу, крахмал, мелассу, экстракт топинамбура, целлюлозу, пептон.

Исследование азотного питания на биосинтез инулиназы проводили на фоне среды следующего состава (%): KH_2PO_4 — 0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,05; KCl — 0,05 с добавлением 5 % сахарозы. В качестве источника азота изучали влияние NaNO_3 , KNO_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, экстракты — кукурузный, солодовый. лучшие результаты были показаны в присутствии $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0, 21%). Оптимальное значение pH среды — 7,0; температура и продолжительность культивирования соответственно — 35°C и 72 ч. Максимальный эффект действия на биосинтез инулиназы оказывали сахароза (5%) и ксилоза (1%) при их совместном использовании. Активность инулиназы составляла 30–35 ед/см³.

В дальнейшем высокоактивный ферментный препарат инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 получали сочетанием ультрафильтрации и сублимационной сушки [3, 4].

В результате получен препарат инулиназы с удельной активностью 520,7 ед/мг белка. Установлено, что максимальную инулиназную активность имеет препарат, полученный при pH 7,0. Ферментный препарат инулополимиксин имеет светло-серый цвет, рассыпчатую консистенцию и активность инулиназы 1315–1325 ед/г.

С точки зрения биотехнологии особый интерес представляют такие важные физико-химические факторы среды, как активная кислотность и температура. В этой связи проводили исследования кислотной и термической инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 соответственно в диапазоне рН и температуры 4,0–8,0 и 20–80°C.

Важный прикладной характер имеет исследование термо- и рН-стабильности фермента. Показано, то оптимальными условиями для действия инулиназы являются рН 7,0 и температура 40°C.

Кислотную и термическую инактивацию проводили при рН 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 и 8,0 и температурах 20, 30, 35, 40, 45, 50, и 60°C. Результаты исследований представлены на рисунках 1–7. Оказалось, что инулиназа *Bacillus polymyxa* 29 наиболее стабильна в зоне рН 6,0–7,0 и температур 20–45°C. Так, при 20°C при рН 7,0 активность инулиназы за 144 ч снижалась на 10,5% и на 22,0% при рН 6,0 (рис. 1).

При температуре 30°C при рН 7,0 активность инулиназы за 120 ч уменьшилась на 17,4%, при рН 6,0 — на 59,0% (рис. 2).

При температуре 35°C при рН 7,0 активность фермента за 120 ч снижалась на 29,2%, при рН 6,0 — на 55,0% (рис. 3).

При 40°C и рН 7,0 активность инулиназы за 120 ч уменьшилась на 25,0% и на 55,0% при рН 6,0 (рис. 4).

При температуре 45°C активность фермента при рН 7,0 за 120 ч инкубации составила 70,0% и при рН 6,0 — 38,0% от максимальной (рис. 5). Остаточная активность инулиназы при 50°C за 48 ч при рН 7,0 составила 18,0%, при рН 6,0 за 36 ч — 17,3%, при рН 5,0 за 12 ч — 23,5% (рис. 6).

Повышение температуры до 60°C приводило к еще более резкой инактивации фермента (рис. 7) [4].

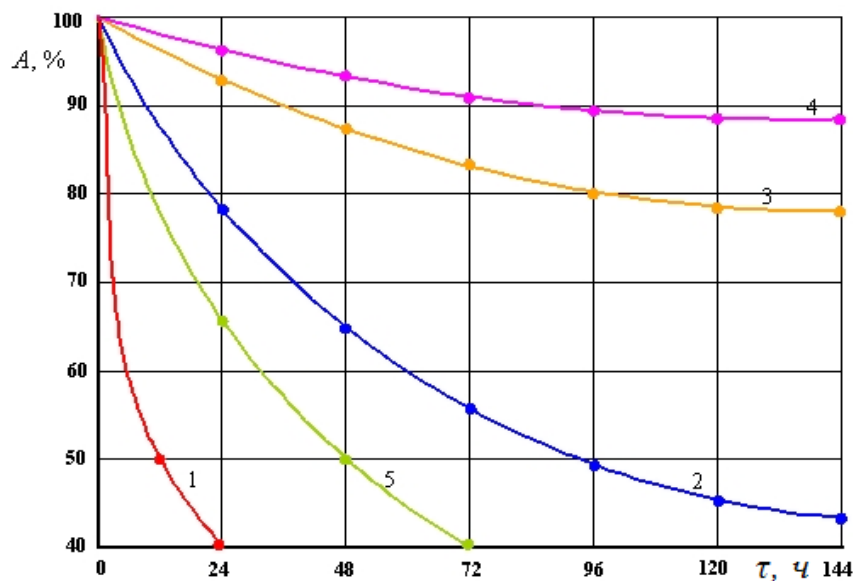


Рис. 1. Динамика инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 20°C и рН: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; А — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

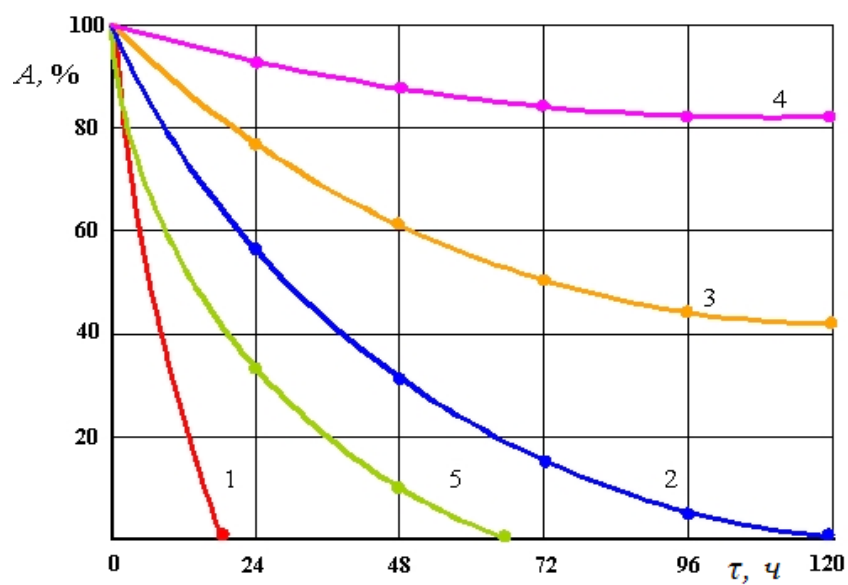


Рис. 2. Динамика инаktivации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 30°C и pH: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; A — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

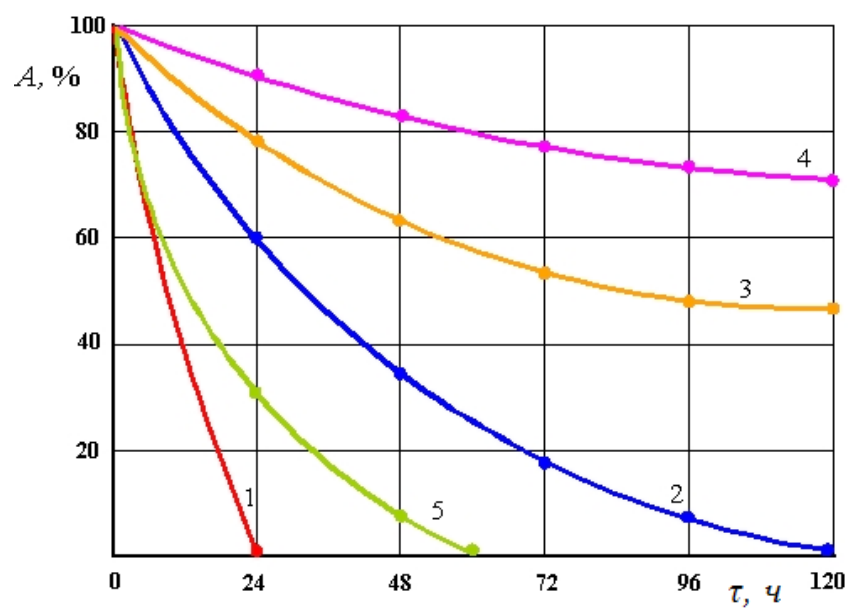


Рис. 3. Динамика инаktivации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 35°C и pH: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; A — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

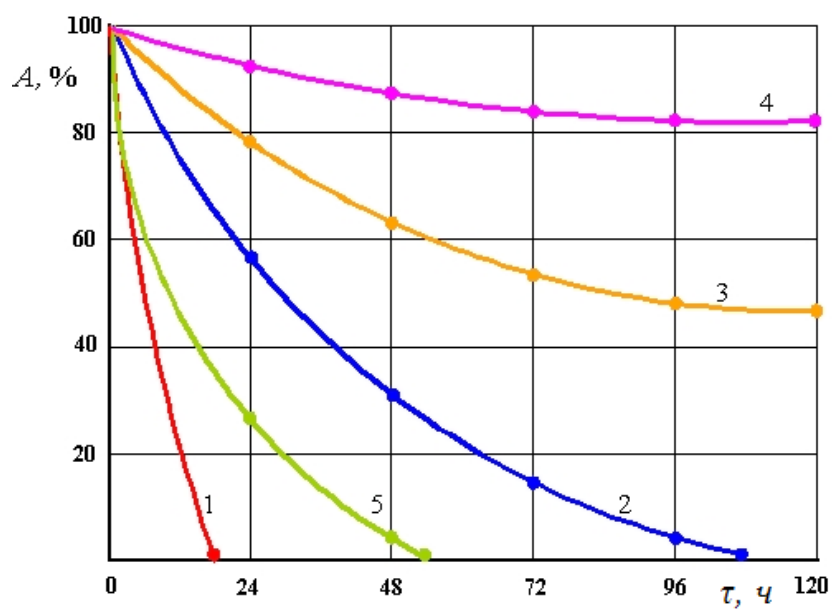


Рис. 4. Динамика инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 40°C и pH: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; A — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

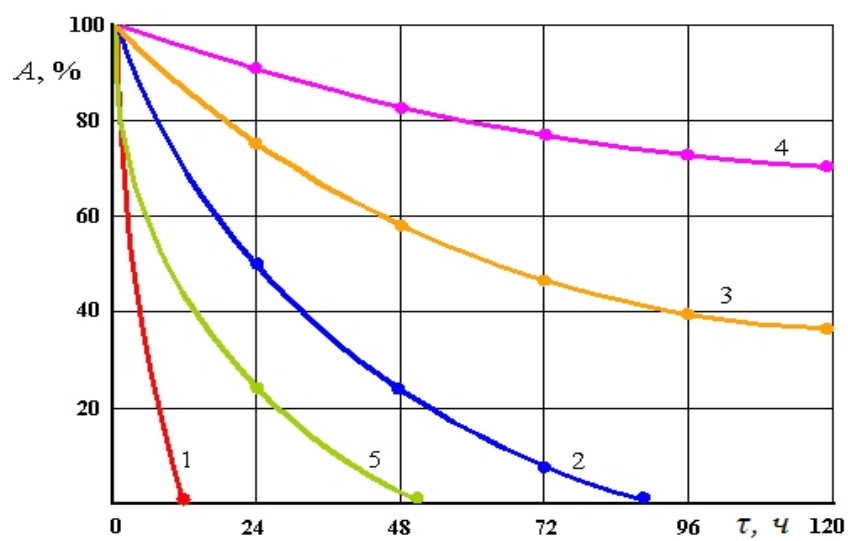


Рис. 5. Динамика инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 45°C и pH: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; A — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

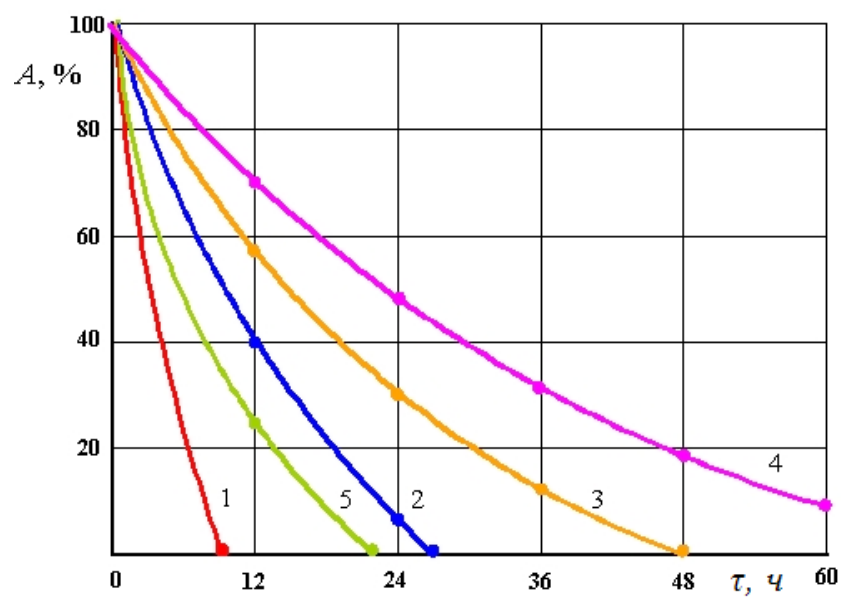


Рис. 6. Динамика инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 50°C и pH: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; A — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

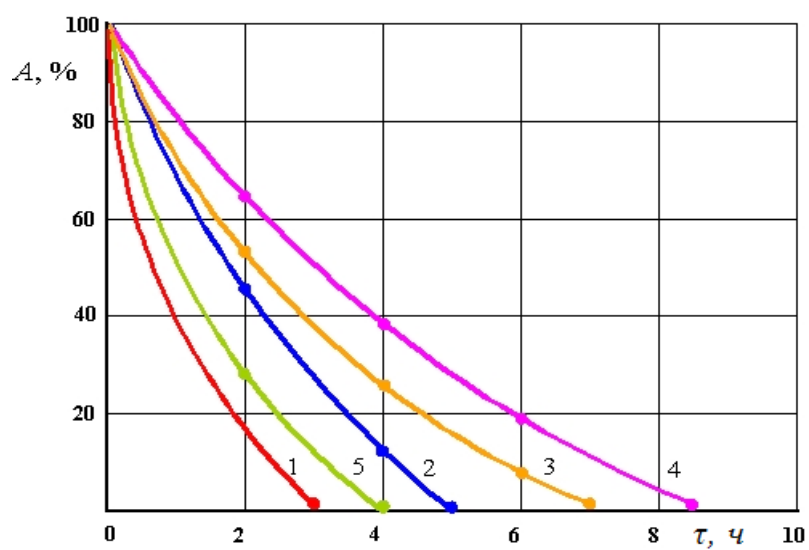


Рис. 7. Динамика инактивации инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 при температуре 60°C и pH: 1 — 4,0; 2 — 5,0; 3 — 6,0; 4 — 7,0; 5 — 8,0; A — активность инулиназы, %; τ — продолжительность инкубации, ч

При исследовании влияния дозировки ферментного препарата на динамику гидролиза инулина инулиназой *Bacillus polymyxa* 29 при оптимальном значении pH и температуре 40°C было выявлено, что для действия фермента оптимальной является 8 ед/г инулина, поскольку за 6 ч степень гидролиза инулина порошка топинамбура составила 91,0%, за 8 ч — 94,5% и за 10–12 ч — 95,0% (рис. 8). Предварительные опыты показали целесообразность гидро модуля 1:3.

Анализ характера зависимостей показал, что за 6 ч инкубации при дозировке инулиназы 10 ед/г инулина степень его гидролиза была равна 90,0%, за 8 ч — 92,0%, за 10–12 ч — 95,2%. Более скромные результаты по накоплению фруктозы были отмечены при дозировках 4 и 6 ед/г инулина (рис. 8). При дозировке 6 ед/г инулина степень его гидролиза за 6 ч составляла 65,0%, за 12 ч — 84,0% [13].

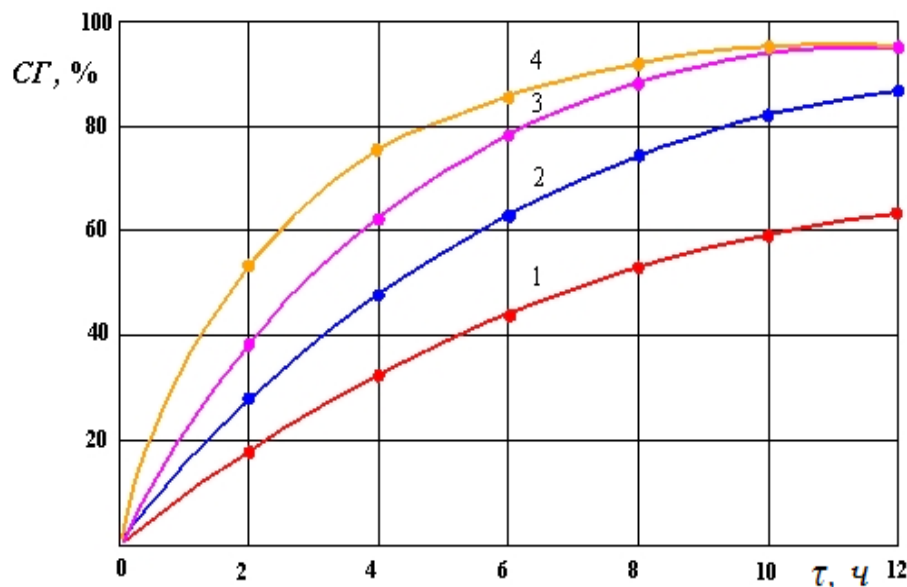


Рис. 8. Динамика гидролиза инулина инулиназой *Bacillus polymyxa* 29 при pH 7,0 и 40°C и дозировках ферментного препарата, ед/г: 1 — 4; 2 — 6; 3 — 8; 4 — 10; СГ — степень гидролиза инулина, %

При изучении влияния температуры на динамику гидролиза инулина инулиназой *Bacillus polymyxa* 29 при оптимальном значении pH для действия фермента рассматривались 35, 40 и 45°C (рис. 9).

Необходимо отметить, что при температуре 40°C, pH 7,0 и дозировке препарата инулиназы 8 ед/г за 12 ч инулин гидролизует на 95,7%, тогда как за 8 ч — на 93,5%. При 35 и 45°C степень гидролиза субстрата значительно ниже. Повышение температуры, вероятно, приводит к инактивации инулиназы [4].

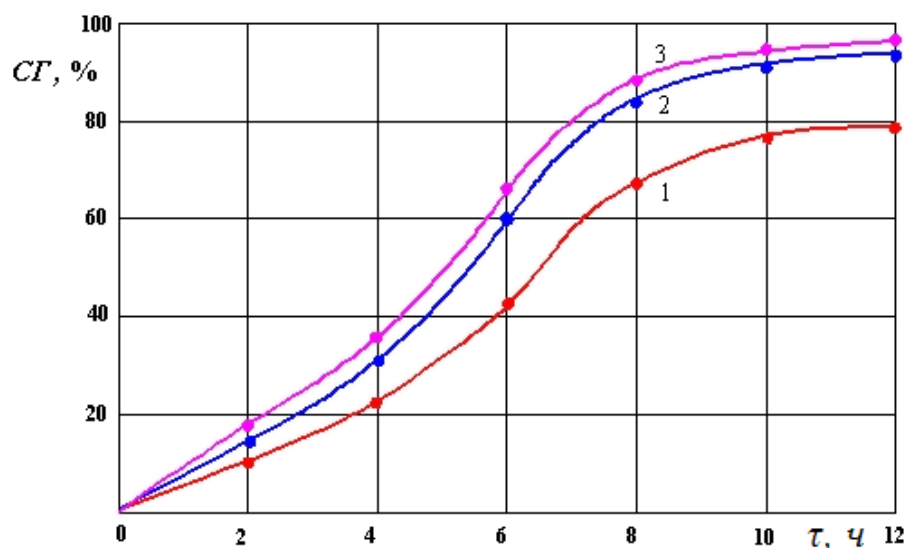


Рис. 9. Динамика гидролиза инулина инулиназой *Bacillus polymyxa* 29 при pH 7,0, дозировке ферментного препарата 8 ед/г инулина и температурах, °C: 1 — 35; 2 — 40; 3 — 45; СГ — степень гидролиза инулина, %

Закключение

Исследован процесс кислотной и термической инактивации ферментного препарата инулиназы *Bacillus polymyxa* 29. При 40°C и pH 7,0 активность фермента за 120 ч снижалась на 25,0% и на 55,0% при pH 6,0.

Подводя итоги, можно констатировать, что оптимальными параметрами ферментативного гидролиза инулина следует считать pH 7,0, температуру 40°C, продолжительность 8 ч и дозировку инулополимерксина 8 ед/г инулина (степень гидролиза инулина — 92,0%). Дальнейшее увеличение дозировки препарата и времени процесса является нецелесообразным, поскольку приводит к незначительному увеличению степени гидролиза. Ферментный препарат инулополимерксин, полученный на основе инулиназы *Bacillus polymyxa* 29, используется в технологии хлеба повышенной пищевой ценности диабетического назначения Таловские просторы (РЦ, ТИ, ТУ 9113-007-00492894-2013) [5].

Библиографический список

1. Жеребцов Н.А., Корнеева О.С., Тертычная Т.Н. О механизме каталитического действия карбогидраз (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 1999. Т. 35. № 2. С. 123–132.
2. Корнеева О.С., Жеребцов Н.А., Шуваева Г.П., Мустафаев Р.М., Тертычная Т.Н. Инулаза микромицета *Aspergillus awamori* 808. Препаративное получение и некоторые физико-химические свойства // Биотехнология. 1993. № 7. С. 31–35.
3. Мажулина И.В., Яковлева С.Ф., Абрамова И.Н. Исследование глубинного культивирования инулиназы *Bacillus polymyxa* 29 для применения в технологии хлеба диабетического

назначения // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития АПК: материалы междунар. научно-практ. конф. в рамках XXII Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2013», 12–15 марта 2013 г. Ч. II. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. С. 59–60.

4. *Мажулина И.В.* Научное обеспечение энергоэффективной технологии получения ферментного препарата инулиназы и его применение в производстве хлебобулочных изделий: Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, 05.18.12, 05.18.01. Воронеж, 2013.

5. *Мажулина И.В.* Разработка энергоэффективной технологии получения ферментного препарата инулиназы и его применение в производстве хлебобулочных изделий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 4–3 (9–3). Т. 2. С. 462–465.

6. *Малютин Т.Н.* Разработка модифицированных технологий жидкой ржаной закваски со стабильными показателями: Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, 05.18.01. Воронеж, 2005.

7. Патент № 2480520. МПК⁷ С 12М 1/02, С12М 1/36, F26В 5/06. Способ управления процессами получения и сушки ферментных препаратов / А.А. Шевцов, Т.Н. Тертычная, И.В. Мажулина; заявл. 03.10.2011; опублик. 27.04.2013. Бюл. № 12.

8. Патент № 2484129. МПК⁷ С 12М 1/00, С12N 1/00, С 12М 1/36. Способ производства биомассы аэробных микроорганизмов [Текст] / О.С. Корнеева, А.А. Шевцов, И.В. Черемушкина, И.В. Мажулина, Д.А. Черенков; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. университет инженерных технологий. № 2012118115/10; заявл. 03.09.2012; опублик. 10.06.2013. Бюл. № 16.

9. Патент № 2506990. МПК⁷ В01/Д, 63/00. Мембранный аппарат с неустановившейся гидродинамикой [Текст] / А.И. Ключников, А.А. Шевцов, И.В. Мажулина; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. университет инженерных технологий. № 2011140150/06; заявл. 03.07.2012; опублик. 20.02.2014. Бюл. № 5.

10. *Пономарева Е.И., Кавешников В.Ю., Застрогина Н.М., Ряжских В.И.* Прогнозирование пищевой ценности хлебобулочных изделий на основе математического моделирования биохимических превращений // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 1 (55). С. 63–67.

11. *Соколенко Г.Г., Карпеченко Н.А.* Новый штамм *Saccharomyces cerevisiae*-G, обладающий инулиназной активностью и хорошими хлебопекарными свойствами // Биотехнология. 2013. № 6. С. 18–22.

12. *Тертычная Т.Н.* Исследование биосинтеза и некоторых физико-химических свойств инулазы *Aspergillus awamori* ВКМФ-2250: Автореферат дисс. канд. биол. наук. Воронеж: ВГУ, 1994. 24 с.

13. *Шевцов А.А., Ключников А.И., Тертычная Т.Н., Мажулина И.В.* Энергоэффективная технология получения ферментного препарата инулиназы и его применение в производстве хлебобулочных изделий: монография. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т. инж. технол., 2014. 204 с.

14. *Шевцов А.А., Котарев В.И., Мажулина И.В., Тертычная Т.Н.* Эксергетический анализ энергоэффективной биотехнологии порошкообразных ферментных препаратов // Известия ТСХА. 2015. № 1. С. 79–92.

15. *Яровой С.А., Соколенко Г.Г., Манешин В.В., Полянский К.К.* Комплексное влияние инулина и молочной сыворотки на развитие дрожжей рода *Saccharomyces* // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2010. № 4. С. 52–55.

16. *Ярош Н.И., Перуанский Г.А., Луковникова Г.А., Иконникова М.И.* Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

17. *Zherebtsov N.A., Korneeva O.S., Tertychnaya T.N.* On the mechanism of splitting of β -2,1-fruktoside bonds of inulin by inulase *Aspergillus awamori* 2250 // Biochemistry (Moscow). 1995. Т. 60. №. 10. Р. 1205–1211.

RESEARCH ON OPTIMUM CONDITIONS FOR ENZYMIC HYDROLYSIS OF INULIN BY *BACILLUS POLYMYXA* 29 INULINASE

I.V. MAZHULINA¹, T.N. TERTYCHNAYA¹, A.A. SHEVTSOV²

(¹ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great;

² Voronezh State University of Engineering Technologies)

The use of inulinases opens up a wide prospect for obtaining pure fructose syrups from plant raw materials and not from starch, but from inulin. The yield of fructose reaches 90–95%. Fructose becomes more and more demanded in food technologies as a safer for human health alternative to sucrose which promotes developing of atherosclerosis, obesity, caries and diabetes.

*There was developed the way of management of biotechnology of obtaining fermental preparations on the basis of the vapor-compression thermal pump, directed to increase the power efficiency and ecological safety of such processes as fermentation, ultrafiltrations and vacuum sublimation. For the research *Bacillus polymyxa* 29, grown by pour plate method, was chosen as a producer of inulinase. Biotechnologically such important physical and chemical factors of the environment as active acidity and temperature are of special interest. In this regard the research on inactivation of *Bacillus polymyxa* 29 inulinase by acidity and temperature was conducted within the range of pH and temperature of 4.0–8.0 and 20–80°C respectively. The optimal conditions for inulinase activity are the following: pH 7.0 and temperature — 40°C. Under these conditions activity of the enzyme for 120 h decreased by 25.0% compared to pH 6.0 when activity dropped by 55.0%. The optimum parameters of enzymic hydrolysis of inulin are found out to be the following: pH 7.0, temperature — 40°C, duration — 8 h and the dosage of an inulopolimeksin — 8 units per 1 g of inulin; the degree of inulin hydrolysis makes up to 92.0%.*

Key words: enzymic preparation, inulinase, acid and thermal inactivation, enzymic hydrolysis, inulin.

Мажулина Инна Вячеславовна — асс. кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1; тел.: (951) 870-98-35; e-mail: inna210590@yandex.ru).

Тертычная Татьяна Николаевна — д. с.-х. н., проф. кафедры технологии переработки растениеводческой продукции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1; тел.: (4732) 53-87-97, (908) 139-51-73; e-mail: tertychnaya777@yandex.ru).

Шевцов Александр Анатольевич — д. т. н., проф. кафедры технологий хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19; тел.: (920) 213-11-36; e-mail: shevalol@rambler.ru).

Mazhulina Inna Vyacheslavovna — assistant of the Department of Plants Processing Operations and Equipment, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (394087, Voronezh, Michurina str., 1; tel.: +7 (951) 870-98-35; e-mail: inna210590@yandex.ru).

Tertychnaya Tatyana Nikolaevna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Crop Processing Technology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (394087, Voronezh, Michurina str., 1; tel.: (4732) 53-87-97, (908) 139-51-73; e-mail: tertychnaya777@yandex.ru).

Shevtsov Aleksandr Anatolyevich — Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Technologies of Baking, Confectionery, Macaroni and Grain Processing, Voronezh State University of Engineering Technologies (394036, Voronezh, Revolyutsii avenue, 19; tel.: +7 (920) 213-11-36; e-mail: shevalol@rambler.ru).

УДК 631.52:631.53.02:633.112.9

ВЛИЯНИЕ СПОНТАННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ НА СОРТОВУЮ ЧИСТОТУ ПОСЕВОВ ТРИТИКАЛЕ (*×TRITICOSECALE WITTM.*)

В.С. РУБЕЦ, А.В. ШИРОКОЛАВА, В.В. ПЫЛЬНЕВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Проведено изучение величины спонтанной гибридизации трех белоколосых сортов-реципиентов (Л. 21759/97, Валентин и Гермес) с различными донорами пыльцы (диплоидной и тетраплоидной рожью, гексаплоидной пшеницей, гексаплоидной тритикале), и дана оценка влияния биологического засорения спонтанными гибридами на сортовую чистоту посева тритикале в условиях Нечерноземной зоны. Показано, что спонтанная гибридизация тритикале с диплоидной рожью и пшеницей мягкой не влияет на значение ее сортовой чистоты, а с тетраплоидной рожью и другими сортами тритикале — влияет существенно.

Выяснено, что метеорологические условия, сложившиеся в фазу цветения, оказывают существенное влияние на величину спонтанной гибридизации сортов тритикале со слабой склонностью к перекрестному опылению (Валентин и Гермес) и не оказывают его для сортов с высокой склонностью (Л. 21759/97).

Величина хазмогамного цветения тритикале не оказывает достоверного влияния на содержание спонтанных гибридов в потомстве.

Ключевые слова: тритикале, пшеница мягкая, диплоидная рожь, тетраплоидная рожь, цветение, спонтанная гибридизация, биологическое засорение, категория семян, сортовая чистота

В результате биологического засорения может существенно снизиться сортовая чистота семеноводческого посева.

Одной из нерешенных проблем в практической селекции и семеноводстве тритикале остается спонтанное перекрестное опыление, приводящее к биологическому засорению семенных посевов в разной степени. Тритикале потенциально способна к спонтанному перекрестному опылению как с другими формами той же культуры, так и с обоими родительскими видами — пшеницей и рожью [11, 17, 20, 21]. При этом тритикале, являясь преимущественно самоопыляющейся культурой, обладает более высокой способностью к спонтанному перекрестному опылению (до 6–17%), чем пшеница (до 2%). Это приводит к регулярному появлению нетипичных растений в селекционных и семеноводческих посевах тритикале; в итоге их сортовая чистота снижается [2, 17].

Достоверная информация относительно частоты спонтанного перекрестного опыления в посевах тритикале в настоящее время отсутствует. Имеющиеся в литературе данные зачастую или значительно расходятся, или прямо противоречат друг другу. Нет уверенности в том, что существующие нормы пространственной изоляции достаточно надежно гарантируют приемлемую сортовую чистоту посевов [13].

Спонтанное перекрестное опыление тритикале может определяться различными факторами: генотипом тритикале, степенью открытого цветения, временем жизни неспособности пыльцы, дальностью переноса пыльцы ветром, избирательностью оплодотворения, метеорологическими факторами, сложившимися во время цветения [5, 11–13, 16].

Данная работа посвящена изучению влияния биологического засорения на сортовую чистоту посевов озимой гексаплоидной тритикале для дальнейшей оптимизации селекционного и семеноводческого процессов этой культуры. Кроме того, изучено влияние генотипа, метеорологических факторов вегетации и уровня открытого цветения на величину спонтанной гибридизации тритикале.

Материал и методика

Исследования проводили на кафедре генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства и Селекционной станции имени П.И. Лисицына Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева в 2011–2015 гг.

Полевой опыт был основан на свободном переопылении исследуемых рецессивных форм тритикале с потенциальными источниками биологического засорения. В качестве материала для исследований были использованы сортообразцы тритикале с рецессивными признаками: белой окраской колоса и отсутствием опушения колосковых чешуй. Эти *реципиенты пыльцы* представляли собой *основной сорт*. Их высевали на больших делянках, имитируя семеноводческие посевы размножаемого сорта. Они были подобраны также по склонности к перекрестному опылению: линия 21759/97 отличается повышенной склонностью к перекрестному опылению (Донской зональный НИИСХ); у сорта Валентин не выявлено склонности к перекрестному опылению (РГАУ-МСХА); сорт Гермес характеризуется повышенной склонностью к самоопылению (Московский НИИСХ «Немчиновка») [12].

Потенциальные засорители, гибридные формы с которыми можно было бы легко обнаружить в посевах основного сорта, являлись *донорами пыльцы*. В качестве возможных доноров пыльцы были использованы различные культуры: сорт озимой диплоидной ржи Альфа (Московский НИИСХ «Немчиновка»), сорт озимой тетраплоидной ржи Верасень (Беларусь), сорта озимой пшеницы мягкой Гармония (Беларусь) и Московская 39 (Московский НИИСХ «Немчиновка») и сорт озимой тритикале Водолей (Донской зональный НИИСХ). Сорт Водолей обладает доминантными морфологическими признаками (красная окраска колоса и опушенные колосковые чешуи).

Эксперимент по изучению биологического засорения тритикале состоял из нескольких циклов. Один цикл эксперимента занимал два года. В первый год получали семена сортов-реципиентов с возможным биологическим засорением гибридными формами с различными донорами пыльцы (*год цветения*). Был использован метод, разработанный для изучения спонтанной гибридизации у пшеницы [1] и адаптированный для тритикале [5, 19]. Этот метод не требует принудительного опыления и не приводит к завышению частоты перекрестного опыления из-за нарушения нормального процесса цветения. Он заключался в том, что основной сорт и возможные доноры пыльцы высевали чередующимися рядками на делянке площадью 1 м². Всего на делянке размещалось 6 рядков, из которых 3 — сорт-реципиент, 3 — донор пыльцы. Повторность трехкратная. В целом получилось 15 вариантов возможного биологического засорения (табл. 1).

Таблица 1

**Схема возможного спонтанного переопыления рецессивных форм тритикале
и доноров пыльцы**

	Рецессивные формы (реципиенты пыльцы)		
	Валентин	Гермес	Линия
Доноры пыльцы	Альфа	Альфа	Альфа
	Верасень	Верасень	Верасень
	Водолей	Водолей	Водолей
	Гармония	Гармония	Гармония
	Московская 39	Московская 39	Московская 39

В опыте были использованы семена тритикале, полученные только от самоопыления. Для предотвращения неконтролируемого перекрестного опыления с другими формами тритикале рядки попарно (реципиент — донор пыльцы) помещали под большие пергаментные изоляторы на время цветения. По окончании цветения изоляторы снимали. После созревания убирали вручную рядки сортов-реципиентов; обмолачивали их также вручную, чтобы не потерять щуплые зерна, которые могли оказаться межродовыми гибридами тритикале с пшеницей или рожью, а также для предотвращения возможности механического засорения. Семена высевали сеялкой СН-10Ц, располагая варианты так, чтобы можно было легко отличить случайное механическое засорение во время посева. Поскольку сорта-реципиенты морфологически сильно отличались друг от друга, сделать это было нетрудно. Число делянок каждого варианта зависело от наличия семян.

В следующем году (*год анализа*) проводили изучение засоренности посевов спонтанными гибридами с донорами пыльцы. Отдаленные гибриды тритикале с пшеницей и рожью имели характерную морфологию и были стерильными. Внутривидовые гибриды с сортом тритикале Водолей отличались красной окраской колоса и опушенными колосковыми чешуями, поэтому выделение гибридных форм не представляло трудностей.

Для анализа пятиметровую делянку делили на две части (по 2,5 м²). С каждой такой части убирали стебли в отдельный сноп. Повторностью считали сноп, а общее число повторностей каждого варианта равнялось числу снопов (от 2 до 20 в зависимости от объема полученных в предыдущем году семян). В целом в каждый год в опыте по изучению биологического засорения тритикале было проанализировано около 90 снопов.

Сноп разбирали на фракции по типу апробации (развитые стебли основного сорта-реципиента, развитые стебли примесей, морфологически соответствующих гибридам с донорами пыльцы). Определяли сортовую чистоту как отношение числа развитых стеблей основного сорта к общему числу развитых стеблей основного сорта и спонтанных гибридов, выраженное в процентах [6]. Засоренность посева (содержание спонтанных гибридов) определяли как разность (100% минус сортовая чистота).

Статистическая обработка полученных результатов имела свои особенности в связи с тем, что изучаемые показатели выражены в процентах. Кроме того, значения сортовой чистоты лежали в пределах, превышающих 80%, а засоренности — в пределах, меньших 20%, поэтому вначале для расчета доверительных интервалов было проведено преобразование данных в φ = угол-арксинус, $\sqrt{\text{процент}}$ определены значения стандартной ошибки $S_{\varphi}=1/\sqrt{n}$, где n — объем выборки (число снопов). Доверительный интервал рассчитывали по формуле $\varphi \pm t_{0.5} S_{\varphi}$. После этого границы доверительного интервала снова переводили в проценты, сохраняя исходное значение среднего арифметического значения [4, 14]. В большинстве случаев «плечи» доверительного интервала для $\bar{x}$ получились неодинаковыми. На рисунках и в таблицах они приведены как $(\bar{x} \pm t_{0.5} S_x)$.

Сравнение значений сортовой чистоты, полученных в разные годы по каждому варианту биологического засорения, проводили попарно при помощи t -критерия Стьюдента [4, 14].

Открытое цветение определяли по методу А.П. Горина, подсчитывая число пыльников, оставшихся в цветке после цветения [1]. Хазмогамными считали цветки, в которых отсутствовал хотя бы один пыльник. Для каждого сорта анализировали 15 колосьев.

Метеорологические факторы не оказывают влияния на проявление доминантных или рецессивных морфологических признаков у потомства (красная или белая окраска колоса, наличие или отсутствие опушения на колосковых чешуях). Однако они могут влиять на величину спонтанной гибридизации. Известно, что средняя продолжительность жизни пыльцы в солнечную погоду составляет около 10 мин., а в облачную — 30–60 мин. [13, 16], ветер способствует перенесению пыльцы на дальние расстояния, дождь осаждаёт пыльцу. Поэтому следует подробно рассмотреть метеорологические условия, сложившиеся в период цветения, чтобы более объективно проанализировать полученные результаты.

Все метеоданные были предоставлены Метеорологической обсерваторией имени В.А. Михельсона.

В 2011 г. наблюдались неблагоприятные погодные условия во время цветения. Жаркая сухая погода, низкая влажность воздуха, высокая интенсивность солнечной инсоляции не способствуют успеху перекрестного опыления у злаков, однако сильные ветры облегчали перенос пыльцы.

Условия 2012 г. характеризовались относительно благоприятными значениями среднесуточной температуры воздуха, наличием осадков, отсутствием дефицита влаги, высокой относительной влажностью воздуха, высокой облачностью, непродолжительным периодом солнечной инсоляции, сильными ветрами. Такие условия благоприятны для сохранения жизнеспособности пыльцы в течение относительно большого промежутка времени. Однако регулярный дождь, возможно, способствовал быстрому намоканию и осаждению пыльцы.

В 2013 г. период цветения характеризовался высокой среднесуточной температурой, отсутствием осадков, и при этом — небольшим дефицитом влаги и благоприятной относительной влажностью воздуха. Облачность в течение всего периода цветения была незначительной, а продолжительность солнечного сияния — большой, ветер — сильным. Такие условия не способствуют длительному сохранению жизнеспособности пыльцы тритикале, однако не препятствуют переносу ее ветром.

В 2014 г. наблюдалась жаркая, сухая, ветреная погода с низкой относительной влажностью воздуха и сильным дефицитом влаги. Было отмечено отсутствие облач-

ности и длительный период солнечной инсоляции. Такие условия неблагоприятны для сохранения жизнеспособности пыльцы в воздухе, но они не препятствуют ее переносу ветром.

Таким образом, наиболее благоприятными для протекания открытого цветения и сохранения жизнеспособности пыльцы был 2012 г., самым неблагоприятным — 2014 г.

Результаты и их обсуждение

Сортовая чистота посева каждого сортообразца, полученная в ходе эксперимента, была сопоставлена с требованиями, приведенными в ГОСТ Р 52325-2005 [10], определяющем нормы сортовой чистоты посевов для различных категорий семян озимой тритикале:

- 99,5% — для категории ОС — оригинальных семян (не более 0,5% засорения), на рисунках это красная линия;
- 99,2% — для категории ЭС — элитных семян (не более 0,8% засорения) (коричневая линия);
- 98,0% — для категории РС — репродукционных семян (не более 2% засорения) (зеленая линия);
- 95,0% — для категории РСт — репродукционных семян, предназначенных для производства товарной продукции (не более 5% засорения) (синяя линия).

Работа была проведена с озимой культурой, поэтому год цветения и год анализа не совпадают. На рисунках приведены годы анализа, поскольку результаты были получены именно тогда, когда выросло потомство, полученное от цветения, произошедшего в предыдущем году (например, для результатов 2013 г. цветение проходило в 2012 г.). В таблицах, где оценивается влияние метеорологических условий на результат спонтанной гибридизации, приведены годы цветения.

Спонтанная гибридизация тритикале с диплоидной рожью как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

В 2013 г. в посевах всех сортов-реципиентов не было отмечено наличие спонтанных гибридов их с рожью (рис. 1), поэтому их сортовая чистота была на максимально возможном уровне.

В 2014 г. в посевах Л. 21759/97 и сорта Валентин спонтанных гибридов с диплоидной рожью обнаружено не было. Только у сорта Гермес среди 3487 стеблей было найдено 2 стебля, морфологически соответствующих отдаленным гибридам тритикале с рожью. При этом сортовая чистота посева сорта Гермес существенно не снизилась и была близка к максимально возможной (рис. 1).

В 2015 г. в посевах всех сортов-реципиентов были обнаружены спонтанные гибриды с диплоидной рожью. Прослеживается влияние генотипа тритикале на величину спонтанной гибридизации с диплоидной рожью — Л. 21759/97 сильнее подвержена ей, чем сорта Валентин и Гермес. У данной линии было отмечено максимальное число гибридов (43 из 6859 проанализированных стеблей), что повлекло за собой снижение сортовой чистоты ниже требований к ОС (рис. 1). Для двух других сортов-реципиентов засорение спонтанными гибридами с диплоидной рожью оказалось незначительным. Оно практически не повлияло на значение сортовой чистоты.

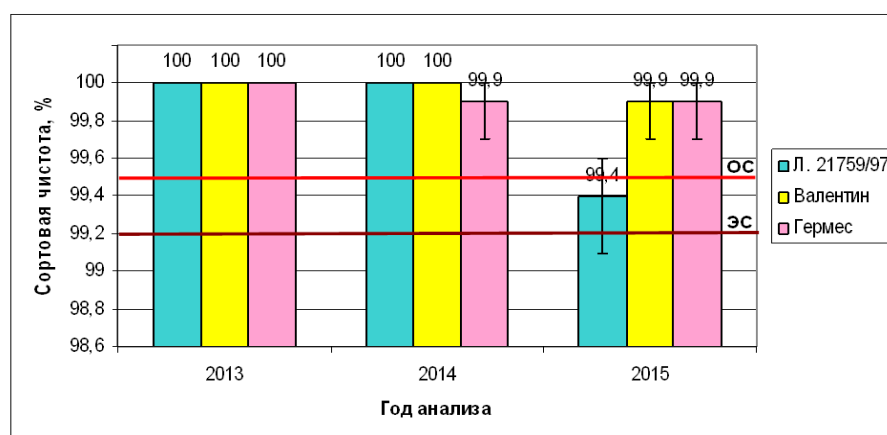


Рис. 1. Сортовая чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межродовыми гибридами с диплоидной рожью Альфа, ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{0.05}$)

Такие результаты позволяют утверждать, что биологическое засорение посевов тритикале спонтанными гибридами с диплоидной рожью является незначительным и не оказывает влияния на значение сортовой чистоты.

Нами был проведен анализ влияния метеорологических условий, сложившихся в период цветения тритикале, на результат ее спонтанной гибридизации с диплоидной рожью.

В 2015 г. в посевах всех сортов-реципиентов были обнаружены спонтанные гибриды, которые были получены во время цветения в 2014 г., т.е. в неблагоприятных погодных условиях для сохранения жизнеспособности пыльцы, а в наиболее благоприятных условиях 2012 г. спонтанная гибридизация вообще не отмечена.

Статистическая обработка полученных результатов показала, что у двух сортов-реципиентов (Л. 21759/97 и Валентин) в 2014 г. уровень спонтанной гибридизации с диплоидной рожью оказался достоверно выше, чем в 2012 г., и у Л. 21759/97 — выше, чем в 2013 г. (табл. 2), т.е. результаты оказались прямо противоположными ожидаемым: самый неблагоприятный с точки зрения сохранения жизнеспособности пыльцы 2014 г. оказался наиболее благоприятным для спонтанной гибридизации тритикале с диплоидной рожью.

Спонтанная гибридизация тритикале с тетраплоидной рожью как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

При использовании в качестве донора пыльцы сорта тетраплоидной ржи Верасень выяснилось, что у Л. 21759/97 способность к спонтанной гибридизации с ней достоверно выше, чем у сортов Валентин и Гермес, у сорта Гермес — выше, чем у сорта Валентин (рис. 2).

Сортовая чистота Л. 21759/97 вследствие спонтанной гибридизации с тетраплоидной рожью Верасень снижается значительно — ниже требований, установленных для категорий оригинальных (ОС) и элитных семян (ЭС) в 2013 г., и даже

Таблица 2

**Влияние метеорологических условий вегетации
на величину спонтанной гибридизации тритикале с диплоидной рожью Альфа**

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{Φ}	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	10,78	2,31	Значимы
	2013 /2014	10,78	2,45	Значимы
Валентин	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	2,55	2,45	Значимы
	2013 /2014	2,08	2,78	Незначимы
Гермес	2012 /2013	2,08	2,78	Незначимы
	2012 / 2014	2,08	2,78	Незначимы
	2013 /2014	0,00	2,45	Незначимы

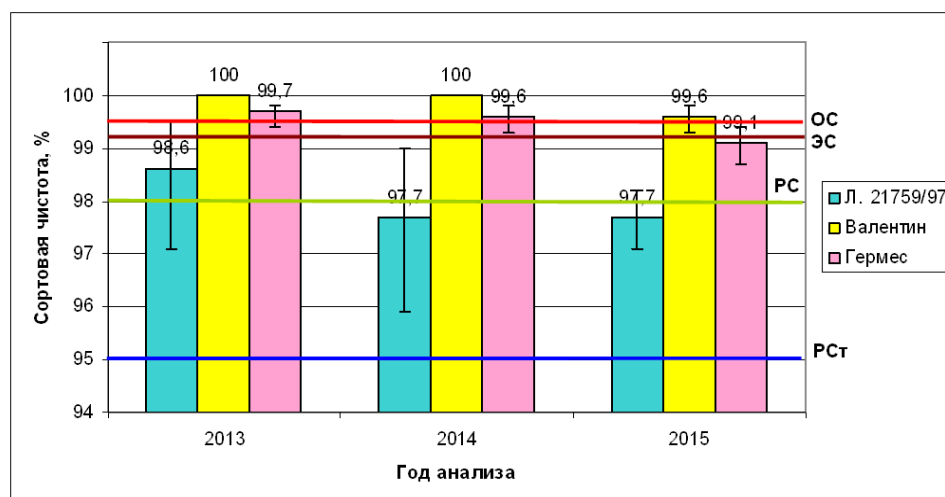


Рис. 2. Сортная чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межродовыми гибридами с тетраплоидной рожью Верасень, ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{05}$)

для категории репродукционных семян (РС) в 2014 и 2015 гг. Посевы этого сортообразца по результатам апробации могут быть признаны только как категория репродукционных семян, предназначенных для производства товарной продукции (РСт).

При этом метеорологические условия в период цветения не влияют достоверно на величину спонтанной гибридизации Л. 21759/97 с тетраплоидной рожью Верасень (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Влияние метеорологических условий вегетации на величину спонтанной гибридизации тритикале с тетраплоидной рожью Верасень

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{ϕ}	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 /2013	1,90	4,30	Незначимы
	2012 / 2014	2,33	2,45	Незначимы
	2013 /2014	0,00	2,45	Незначимы
Валентин	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	5,58	2,31	Значимы
	2013 /2014	4,41	2,45	Значимы
Гермес	2012 /2013	0,78	2,31	Незначимы
	2012 / 2014	3,57	2,31	Значимы
	2013 /2014	3,12	2,23	Значимы

Сортовая чистота посевов сорта Валентин в 2013 и 2014 гг. была максимально высокой вследствие отсутствия в них спонтанных гибридов с тетраплоидной рожью (рис. 2). Только в 2015 г. отмечено некоторое снижение этого показателя, однако и в этом случае он был выше требований, предъявляемых к категории ОС. Отмечено влияние метеорологических условий цветения на величину спонтанной гибридизации: в 2014 г. ее уровень был достоверно выше, чем в 2012 и 2013 гг. (табл. 3).

В посевах сорта Гермес во все годы исследований были найдены спонтанные гибриды его с тетраплоидной рожью (рис. 2). При этом сортовая чистота в 2013 и 2014 гг. оставалась на высоком уровне и соответствовала категории ОС, а в 2015 г. значительно снизилась до категории РС. Влияние метеорологических условий в период цветения на величину спонтанной гибридизации аналогично этому влиянию для сорта Валентин (табл. 3).

Таким образом, спонтанная гибридизация тритикале с тетраплоидной рожью приводит к значительному снижению сортовой чистоты посевов тритикале. Величина спонтанной гибридизации зависит от генотипа сорта-реципиента тритикале. Так, Л. 21759/97 обладает достоверно более высокой склонностью к скрещиванию с рожью, чем два других изученных сорта. Отмечено, что метеорологические условия, сложившиеся в период цветения, не оказывают значительного влияния на уровень спонтанной гибридизации тритикале с тетраплоидной рожью в тех случаях, когда генотип тритикале характеризуется высокой способностью к спонтанной гибридизации, и оказывают — когда генотип этим не обладает.

**Спонтанная гибридизация тритикале с пшеницей
как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов**

Возделываемые в производстве сорта озимой тритикале имеют гексаплоидный уровень плоидности, такой же, как пшеница мягкая. Кроме того, общими для обеих культур являются два субгенома (AB). Поэтому взаимное переопыление тритикале и пшеницы мягкой представляется вполне возможным.

Наши исследования были проведены с участием двух сортов пшеницы мягкой озимой — Гармония и Московская 39.

Во все годы исследований в посевах сортов-реципиентов тритикале не было обнаружено ни одного гибрида с сортом Гармония.

Единичные гибридные растения тритикале с пшеницей Московская 39 были обнаружены в посевах Л. 21759/97 в 2015 г. и сорта Валентин в 2013 и 2015 гг. (рис. 3). В посевах сорта Гермес таких гибридов найдено не было во все годы исследований.

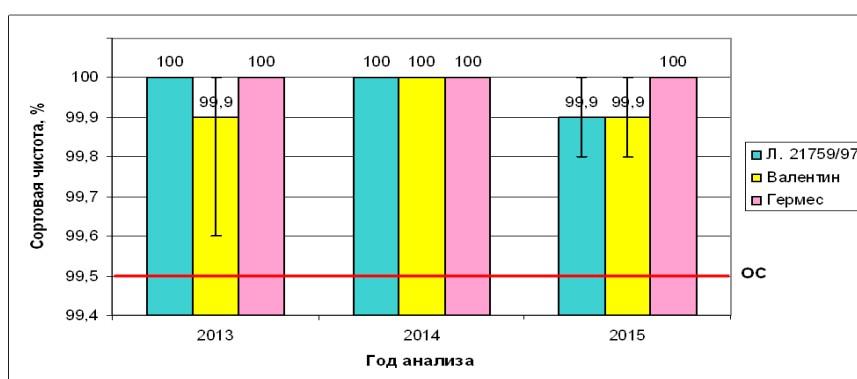


Рис. 3. Сортовая чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межродовыми гибридами с пшеницей мягкой Московская 39, ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{0.05}$)

Спонтанная гибридизация тритикале с пшеницей мягкой не повлияла на величину сортовой чистоты: у всех сортов-реципиентов она приближалась к максимально возможной. Влияние генотипа тритикале на уровень спонтанной гибридизации ее с пшеницей явно не прослеживается (он приближается к нулю у всех изученных сортов-реципиентов). Однако отмечено влияние метеорологических условий: в период цветения, в 2014 г., сложились условия, более благоприятные для спонтанной гибридизации Л. 21759/97 с пшеницей, чем в 2012 и 2013 гг., а для сорта Валентин наиболее благоприятные условия сложились в 2012 г. (табл. 4).

Таким образом, спонтанная гибридизация тритикале с гексаплоидной пшеницей не оказывает влияния на сортовую чистоту тритикале. Влияние генотипа тритикале на уровень спонтанной гибридизации с пшеницей не выявлено, однако имеет место влияние погодных условий в период цветения.

Влияние метеорологических условий вегетации на величину спонтанной гибридизации тритикале с сортом пшеницы мягкой Московская 39

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{Φ}	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	2,55	2,45	Значимы
	2013 /2014	2,55	2,45	Значимы
Валентин	2012 /2013	2,34	2,57	Незначимы
	2012 / 2014	0,00	2,37	Незначимы
	2013 /2014	2,79	2,31	Значимы
Гермес	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014			
	2013 /2014			

Спонтанная межсортовая гибридизация тритикале как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

Изучение спонтанной межсортовой гибридизации тритикале было проведено в течение четырех лет (цветение проходило в 2011–2014 гг.). В 2011 г. в эксперимент было включено два сорта-реципиента — Валентин и Гермес.

Сортовая чистота белоколосых сортов-реципиентов во все годы исследований снижалась вследствие биологического засорения спонтанными гибридами с красноколосым сортом тритикале Водолей (рис. 4).

Наибольшая способность к спонтанной гибридизации была выявлена у Л. 21759/97 — сортовая чистота ее посевов снизилась до значений РСт. Влияние погодных условий в период цветения на величину спонтанной межсортовой гибридизации у этой линии обнаружено не было — во все годы она была стабильно высокой (рис. 4, табл. 5).

У сортов Валентин и Гермес прослеживается влияние погодных условий в период цветения на результаты спонтанной гибридизации (рис. 4, табл. 5).

В 2011 и 2012 гг. метеорологические условия в период цветения были благоприятными для спонтанной межсортовой гибридизации сорта Валентин. Это привело к тому, что сортовая чистота его посевов в 2012 и 2013 гг. была ниже для категории РС и соответствовала только категории РСт, причем достоверных различий по содержанию спонтанных гибридов в эти годы обнаружено не было. В 2013 и 2014 гг. метеорологические условия в фазу цветения были неблагоприятными для осуществления спонтанной межсортовой гибридизации, поэтому в 2014 и 2015 гг. были отмечены самые высокие значения сортовой чистоты, соответствующие категориям

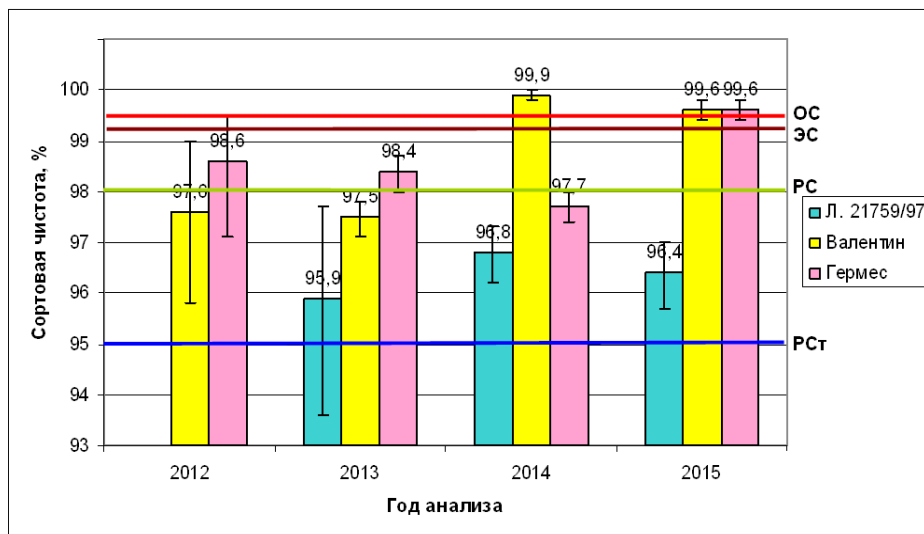


Рис. 4. Сортная чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межсортowymi гибридами с сортом тритикале Водолей, ($\bar{x} \pm S_x t_{0,5}$)

Таблица 5

Влияние метеорологических условий вегетации на величину спонтанной межсортowej гибридации тритикале с сортом Водолей

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{ϕ}	табличный $t_{0,5}$	
Л. 21759/97	2012 /2013	1,12	2,31	Незначимы
	2012 / 2014	0,98	2,45	Незначимы
	2013 /2014	0,19	2,18	Незначимы
Валентин	2011 /2012	0,26	2,23	Незначимы
	2011 / 2013	8,98	2,31	Значимы
	2011 / 2014	6,70	2,31	Значимы
	2012 /2013	15,38	2,12	Значимы
	2012 / 2014	11,59	2,12	Значимы
	2013 /2014	3,59	2,15	Значимы

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{Φ}	табличный t_{05}	
Гермес	2011 / 2012	0,65	2,23	Незначимы
	2011 / 2013	2,56	2,09	Значимы
	2011 / 2014	7,64	2,06	Значимы
	2012 / 2013	3,62	2,05	Значимы
	2012 / 2014	7,80	2,12	Значимы
	2013 / 2014	12,17	2,06	Значимы

ОС (рис. 4), причем в 2014 г. спонтанных гибридов было достоверно меньше, чем в 2015 г. (табл. 5). Для сорта Гермес наиболее благоприятными для осуществления спонтанных межсортовых скрещиваний оказались 2011, 2012 и 2013 гг., поэтому сортовая чистота посевов оказалась довольно низкой: в 2012 и 2013 гг. ее значения соответствовали категории РС, а в 2014 г. — только категории РСт (рис. 4). В 2014 г. величина спонтанной гибридизации была небольшой, поэтому сортовая чистота посевов в 2015 г. соответствовала категории ОС. В 2011 и 2012 гг. не отмечено достоверных различий по сортовой чистоте, что можно расценивать как отсутствие влияния погодных условий в период цветения в эти годы на уровень спонтанной гибридизации. Во все остальные годы такие различия имели место (табл. 5).

Таким образом, результаты наших исследований позволяют утверждать, что из всех изученных типов биологического засорения наиболее вредоносным является именно спонтанная межсортовая гибридизация.

Величина спонтанной межсортовой гибридизации тритикале зависит от генотипа (у Л. 21759/97 способность к спонтанной гибридизации достоверно выше, чем у сортов Валентин и Гермес). Метеорологические условия периода цветения оказывают влияние на величину спонтанной гибридизации у сортов тритикале с невысокой склонностью к перекрестному опылению (как Валентин и Гермес) и не оказывают — у сортов с высокой способностью к скрещиванию с другими сортами (как Л. 21759/97). Межсортовая спонтанная гибридизация является наиболее значимой причиной снижения сортовой чистоты тритикале.

На рисунке 5 представлены значения сортовой чистоты в среднем по годам для всех изученных сортов-реципиентов с возможным биологическим засорением спонтанными гибридами со всеми донорами пыльцы. Сильнее всего сортовая чистота снижается вследствие засорения посевов спонтанными гибридами с гексаплоидной тритикале и тетраплоидной рожью. Заметно влияние генотипа: Л. 21759/97 обладает достоверно большей способностью к спонтанной гибридизации, чем сорта Валентин и Гермес.

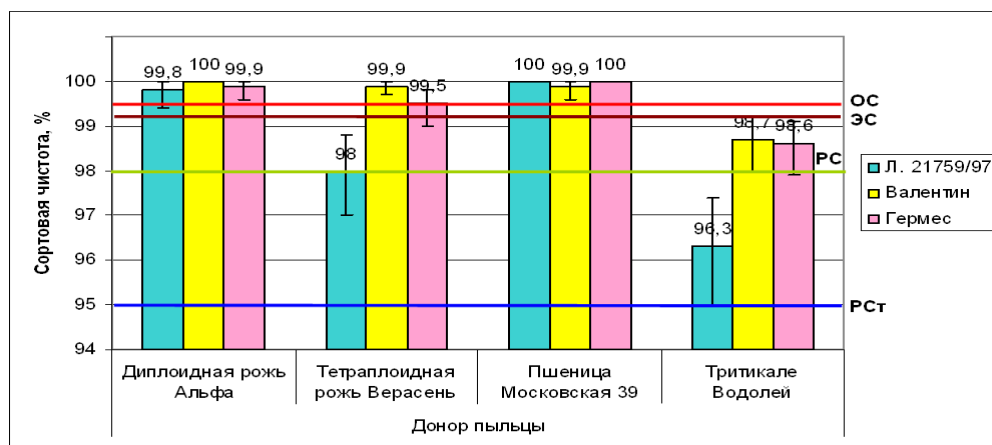


Рис. 5. Сортовая чистота сортов-реципиентов тритикале в зависимости от степени биологического засорения их спонтанными гибридами с донорами пыльцы — в среднем по годам ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{0.05}$)

Спонтанная гибридизация тритикале с диплоидной рожью и пшеницей мягкой не влияет на величину сортовой чистоты тритикале.

Результаты наших исследований показали наличие влияния метеорологических факторов в период цветения на уровень спонтанной гибридизации тритикале, причем ожидаемые результаты были отмечены лишь для межсортовой гибридизации. Для межродовой гибридизации ясной картины не наблюдается. В случае с диплоидной и тетраплоидной рожью максимальная спонтанная гибридизация с ними тритикале отмечена в условиях, наиболее неблагоприятных для сохранения жизнеспособности пыльцы (год цветения — 2014). Этот неожиданный результат нуждается в дополнительном изучении.

Открытое цветение тритикале и его влияние на уровень спонтанной гибридизации

Тритикале в своей родословной имеет два различных по биологии цветения и опыления родителя: самоопыляющуюся пшеницу и перекрестноопыляющуюся рожь.

Под цветением в широком смысле понимают доступность для агентов переноса пыльцы тычинок и пестиков. Во время цветения цветки растений могут находиться в раскрытом состоянии или не раскрываться вовсе. В первом случае цветение будет называться хазмогамным (или открытым), во втором — клейстогамным (или закрытым) [8]. Ясно, что для осуществления перекрестного опыления необходимо иметь открытые цветки. Клейстогамное цветение способствует самоопылению. Однако хазмогамное цветение еще не гарантирует перекрестное опыление, а лишь увеличивает вероятность попадания пыльцы на рыльце. Если на рыльце раньше попала собственная пыльца, ее прорастание началось раньше, то и вероятность оплодотворения будет выше, чем чужеродной.

Хазмогамия считается первичной, поскольку изначально все злаки сформировались как перекрестноопыляемые виды. Клейстогамия вторична. Она экологически

обусловлена и вызывается неблагоприятными условиями внешней среды [3]. По мере увеличения плоидности наблюдается склонность к самоопылению и клейстогамному цветению.

У тритикале выделяют два типа цветения: открытый (хазмогамный) и закрытый (клейстогамный) [15, 18]. Обычно закрытое цветение наблюдается у цветков высшего порядка (3-х и 4-х в колоске) [13]. Во влажных условиях у тритикале и пшеницы более выражен открытый тип цветения. Засуха и высокая температура способствуют увеличению клейстогамного цветения [7].

В наших исследованиях было проведено изучение хазмогамного цветения сортов-реципиентов в 2012 и 2013 гг. (табл. 6). Уровень открытого (хазмогамного) цветения у них в оба года высок (выше 80%). Это делает весьма вероятным попадание пыльцы, находящейся в воздухе, в их цветки.

Т а б л и ц а 6

Влияние метеорологических условий вегетации на величину открытого цветения озимой тритикале, % (по данным Митрошиной, 2015) [9]

Сортообразец	Открытое цветение, %		t_{ϕ} по годам
	2012 г.	2013 г.	
Л. 21759/97	82,8	95,2	11,6
Валентин	97,4	94,1	4,61
Гермес	96,6	95,6	1,77
—	—	—	$t_{05} = 2,78$

Напомним, что комплекс метеорологических факторов периода цветения в 2012 г. позволяет охарактеризовать его как более благоприятный для проявления признака открытого цветения, чем в 2013 г.

У линии 21759/97 содержание открытых цветков в 2012 г. было достоверно ниже, чем в 2013 г. (табл. 6). При этом в оба года анализа (2013 и 2014 гг.) отсутствовали гибриды с диплоидной рожью и пшеницей (рис. 1, 3). В 2013 г. было отмечено более низкое содержание спонтанных гибридов с тетраплоидной рожью (1,4%), чем в 2014 г. (2,3%), что соответствует значениям хазмогамии в годы цветения, однако различия недостоверны (табл. 3). В 2013 г. наблюдалось несколько больше спонтанных гибридов с сортом тритикале Водолей (4,1%), чем в 2014 г. (3,2%) (рис. 4). Это не соответствует уровню хазмогамии в годы цветения. Различия также недостоверны (табл. 5).

Таким образом, для Л. 21759/97 не прослеживается ясная связь между уровнем хазмогамии и содержанием спонтанных гибридов.

У сорта Валентин в 2012 г. был отмечен более высокий уровень хазмогамного цветения, чем в 2013 г. (табл. 6). В эти годы не было выявлено спонтанной гибридизации с диплоидной и тетраплоидной рожью (рис. 1, 2). В 2012 г. имело место образование гибридов с пшеницей (в 2013 г. был найден 1 стебель), в 2013 г. спонтанных скрещиваний с пшеницей не было обнаружено (рис. 3). В 2012 г. спонтанная межсортовая гибридизация была успешнее, чем в 2013 г. (рис. 4, табл. 5). Эти

результаты соответствуют значениям уровня хазмогамии и позволяют увидеть связь между ней и содержанием спонтанных гибридов (чем выше хазмогамия, тем больше гибридов).

У сорта Гермес в 2012 г. также был отмечен более высокий уровень хазмогамии, чем в 2013 г. (табл. 6). В 2012 г. не было выявлено наличие спонтанной гибридизации с диплоидной рожью, а в 2013 г. она имела место (рис. 1), однако ее величина была так мала, что статистическая обработка не выявила различий (табл. 2). Гибридизация с тетраплоидной рожью наблюдалась в оба года, ее результаты были одинаковы (рис. 2, табл. 3). С пшеницей гибридизация не была отмечена в оба года (рис. 3), с тритикале в 2013 г. спонтанных гибридов было существенно больше, чем в 2012 г. (табл. 5). Сопоставление уровня хазмогамии в год цветения и содержания спонтанных гибридов в год анализа у сорта Гермес в 2012 и 2013 гг. не выявило ясной зависимости между ними.

Таким образом, у двух сортов-реципиентов тритикале (Л. 21759/97 и Гермес) не выявлена зависимость между уровнем открытого цветения и содержанием спонтанных гибридов, у сорта Валентин такая зависимость обнаружена. Возможно, здесь имеет место сортовая специфика.

Выводы

1. Биологическое засорение посевов тритикале спонтанными гибридами ее с диплоидной рожью и пшеницей невелико и не оказывает влияния на сортовую чистоту.

2. Биологическое засорение посевов тритикале спонтанными гибридами ее с тетраплоидной рожью и гексаплоидной тритикале довольно велико и существенно снижает сортовую чистоту.

3. Из всех изученных типов биологического засорения наиболее вредоносным является спонтанная межсортовая гибридизация.

4. Величина спонтанной гибридизации тритикале зависит от генотипа: Л. 21759/97 характеризуется высокой способностью к спонтанной гибридизации, сорта Валентин и Гермес — низкой.

5. Метеорологические условия, сложившиеся в период цветения тритикале, оказывают существенное влияние на величину спонтанной гибридизации сортов тритикале со слабой склонностью к перекрестному опылению (как Валентин и Гермес) и не оказывают у сортов с высокой (как Л. 21759/97).

6. Не выявлена ясная зависимость между уровнем открытого цветения тритикале и содержанием спонтанных гибридов.

Библиографический список

1. Горин А.П. Биология цветения и естественной гибридизации у пшеницы: Дис. д. с.-х. н. М., 1950. 295 с.
2. Гуляев Г.В., Гужов Ю.Л. Селекция и семеноводство полевых культур. 3-е изд., перераб и доп. М.: Агропромиздат, 1987. 447 с.
3. Демьянова Е.И. Клейстогамия // В кн. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции. Т. 3. Системы репродукции / Под ред. Т.Б. Батыгиной. СПб.: «Мир и семья», 2000. С. 96–99.
4. Доспехов Б.Д. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.

5. Дударева О.В. Биологические особенности репродуктивной системы тритикале и их использование в селекции на озерненность / Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.05 // Брянск, 2005. 18 с.
6. Инструкция по апробации сортовых посевов. Часть I (зерновые, крупяные, зернобобовые, масличные и прядильные культуры). М.: ВНИИТЭИагропром, 1996. 83 с.
7. Карпачев В.В., Шевченко В.Е. Биология цветения и индуст-толерантность тритикале // Научные основы селекции сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ. Каменная Степь, 1985. С. 38–51.
8. Лотова Л.И. Морфология и анатомия высших растений. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 528 с.
9. Митрошина О.В. Избирательность оплодотворения у сортов вторичной гексаплоидной тритикале: Дис. ...канд. биол наук: 06.01.05. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 166 с.
10. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия: Издание официальное. М.: Стандартиформ, 2005. 19 с.
11. Пыльнев В.М., Рыжеева О.И., Кривенко А.А. Особенности цветения и опыления разных форм озимого тритикале // В кн.: Репродуктивный процесс и урожайность полевых культур. Одесса: ВСГИ, 1981. С. 27–40.
12. Рубец В.С., Митрошина О.В., Пыльнев В.В. Особенности избирательности оплодотворения у тритикале (*Triticosecale* Wittm.) // Известия ТСХА. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. Вып. 6. С. 15–37.
13. Симинел В.Д., Кильчевская О.С. Особенности биологии цветения, опыления и оплодотворения тритикале. Кишинев: «Штиинца», 1984. 152 с.
14. Смиряев А.В., Кильчевский А.В. Генетика популяций и количественных признаков. М.: КолосС, 2007. 272 с.
15. Федорова Т.Н., Колесникова О.С., Чичкин С.Н. Биологические особенности цветения окто- и гексаплоидных тритикале // Сельскохозяйственная биология, 1982. Т. 17. № 3. С. 352–357.
16. Чеботарь А.А., Челак В.Р., Мошкович А.М., Архипенко М.Г. Эмбриология зерновых, бобовых и овоще-бахчевых возделываемых растений. Кишинев: «Штиинца», 1987. 225 с.
17. Шевченко В.Е., Павлюк А.П., Дьяконов А.А. Районированные сорта и гибриды полевых культур в ЦЧР. Воронеж: ВГАУ, 1998. 292 с.
18. Шевченко В.Е., Шпилев Н.С. Биология цветения яровых гексаплоидных ($2n = 42$) тритикале // Науч. тр. НИИСХ ЦЧП, 1978. Т. 15. Вып. 3. С. 41–43.
19. Шпилев Н.С. Метод определения ксеногамии у сельскохозяйственных культур // Селекция и семеноводство. 2003. № 3. С. 12–13.
20. Hills M., Hall L., Messenger D., Graf R., Beres B., Eudes F. Evaluation of crossability between triticale (*X Triticosecale* Wittmack) and common wheat, durum wheat and rye. / Environmental Biosafety Research, 2007. Vol. 6 (4). P. 249–257.
21. Kociuba W., Kramek A. The analysis of some characteristics of triticale flowering biology suitable for breeding and reproduction of cultivars // Annales Universitatis Mariae Curie — Skłodowska, Agricultura, 2004. Vol. 59. № 1. P. 115–117.

THE INFLUENCE OF SPONTANEOUS HYBRIDIZATION ON TRITICALE ($\times$ TRITICOSECALE WITTM.) PLANTINGS VARIETAL PURITY

V.S. RUBETS, A.V. SHIROKOLAVA, V.V. PYLNEV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The spontaneous hybridization rate was measured between three white-spiked cultivars-receivers (line 21759/97, 'Valentin' and 'Germes') and different pollen-suppliers (diploid and tetraploid rye, hexaploid wheat, hexaploid triticale). The influence of biological contamination by spontaneous hybrids on varietal purity of triticale plantings was studied in the Non-Chernozem zone. It was shown that the spontaneous hybridization with diploid rye and common wheat has no effects on triticale's varietal purity; but with tetraploid rye and other triticale cultivars it has significant impact. The weather during blossoming influenced the spontaneous hybridization rate for triticale cultivars with low tendency to cross-pollination ('Valentin' and 'Germes'), but for cultivars with high tendency (line 21759/97) it did not have any effect. Triticale chasmogamous blossoming rate did not influence spontaneous hybrids content in progeny.

Key words: triticale, common wheat, diploid rye, tetraploid rye, blossoming, spontaneous hybridization, biological contamination, seed class, varietal purity.

Рубец Валентина Сергеевна — к. б. н., доц. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Широколава Алексей Валерьевич — асп. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72).

Пыльнев Владимир Валентинович — д. б. н., проф. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72, e-mail: selection@timacad.ru).

Rubets Valentina Sergeevna — PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Genetics, Biotechnology, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Shirokolava Aleksey Valerievich — PhD-student of the Department of Genetics, Biotechnology, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Pylnev Vladimir Valentinovich — PhD in Biology, Professor of the Department of Genetics, Biotechnology, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

УДК.582.579.2

THE MOLECULAR-PHYLOGENETIC STUDY OF *PETROSIMONIA* SPECIES OF CHENOPODIACEAE JUSS. FAMILY

T.A. FEODOROVA¹, O.S. ALEKSANDROV²

(¹ Lomonosov Moscow State University,
² Russian Timiryazev State Agrarian University)

To reconstruct phylogeny and verify the monophyly of Petrosimonia genus, a total of 10 species representing in Euroasia were sampled, with analysis based on ITS1,2 nrDNA using maximum parsimony and Bayesian inference methods. Our molecular evidence provides strong support for the following: 1) P. nigdeensis, P. triandra 2) P. squarrosa, P. glauca and P. glaucescens 3) P. monandra, P. oppositifolia. P. litwinowii, P. brachiata and P. sibirica are nested with subclades with weak support or separated from subclades in basal position. Single PCR NTS of 5S nrDNA product were confirmed for P. monandra, P. oppositifolia, P. glaucescens and P. squarrosa. Two PCR NTS products were confirmed for P. brachiata and P. sibirica and three products for P. litwinowii. The P. brachiata, P. sibirica and P. litwinowii are hybridogenic species with homogenic ITS1,2 nrDNA sequences. The homogenic sequences used for molecular-phylogeny do not reflect of correct (real) position of species on molecular trees.

Key words: Chenopodiaceae, Petrosimonia, molecular phylogeny, NTS and ITS1,2 nuclear ribosomal DNA, genome homogenization, systematics.

Chenopodiaceae Juss. Family comprises ca. 102 and ca. 1500 species, mainly native to arid, saline and alkaline regions. Chenopodiaceae arisen on littoral sand is widely distributed on the territories freed from the epicontinental Tethys ocean. A.A. Bunge (1880) distinguished 10 independent centers of origin and diversity of halophytic flora. These territories show the tendency to expansion in recent years as result of climate aridisation. Chenopodiaceae species have played an important role in vegetation, wind control, soil fixation and water conservation in deserts. For the man, Chenopodiaceae is a valuable source for pasture, fodder, food and as technical plants. *Petrosimonia* species of Chenopodiaceae are autumn fodder for camels and cattle, and are recommended for cultivation on the salty soils. In addition, attention to the representatives of this family is due to the opening of their single cell C4-photosynthesis [7 21], which makes them the model systems for studying evolution of photosynthesis Kranz paradigm [2]. In the latest classification of *Petrosimonia*, the position of some species is not satisfactory.

ITS1, ITS2 nrDNA markers which are most oftenly used for molecular-phylogenetic analysis [3, 18, 24] display polymorphism within the same species pointing to their hybrid origin. In this case hybrid taxa containing ITS1, ITS2 fragments or their parts are excluded

from analysis and studied by means of other approaches. The polymorphic sequences ITS1, ITS2 nrDNA are homogenized as result of concerted evolution [6]. This process reduces effectiveness of ITS1, ITS2 nrDNA use for studying taxa phylogenetic relationships and determination of their systematic position.

The use of chloroplast markers, which do not have high level of polymorphism, reconstructs evolution. However, the molecular markers have been reported to be used for hybridisation detection. This method is more preferable and provides more accurate data on the saved information about these events in the genome. We prefer to use the NTS 5S nrDNA marker which is conservative and various enough for species level, besides, it saves information about hybridisation events. The NTS polymorphism is studied for *Beta* [19], *Chenopodium* [14], *Populus* [15], *Triticum* [5], *Vitis* [8] genera.

The aim of this study is in comparative analysis of the data based on ITS1, ITS2 45S nrDNA and NTS 5S nrDNA sequences as main phylogenetic markers for taxonomic and systematic classifications of difficult *Petrosimonia* genus with homogenic ITS1, ITS2 45S nrDNA.

Materials and methods

1. Plant sampling.

Eight species of *Petrosimonia* and one species of *Ofaiston monandrum* from Chenopodaceae family were sampled for this study (Table 1).

Table 1

List of taxa sampled, vouchers and collectors, NTS bands number and ITS1, ITS2 polymorphism

№	Species	Source and collectors	NTS bands number	ITS1,2 status
1	<i>Petrosimonia monandra</i> (Pallas) Bunge	Russia, Saratovskaya obl., Novouzenskiy r-n, koshara Togus-Molokan. Dry steppe. T.A. Feodorova. 27.08.2008 y. Latitude 50,15306, longitude 48,37383. (MW)	1	Not polymorphic
2	<i>P. triandra</i> (Pallas) Simonk	Russia, Saratovskaya obl., Novouzenskiy r-n, selo Pigary. Dry steppe. T.A. Feodorova. 25.08.2008 y. Latitude 51,4421, longitude 49,67922. (MW)	1 minor, 1 major	Not polymorphic
3	<i>P. glauca</i> Bunge	Zakaspiyskaya obl. Vannovskoe v Shculy. Road side. D. Litvinov. 19.09.1898 y. (MW)	1	Not polymorphic
4	<i>P. oppositifolia</i> Litv.	Russia, Volgogradskaya obl., Pallasovskiy r-n, ozero Elton. Solt steppe. T.M. Lysenko. 13.08.07 y. (MW)	1	Not polymorphic

№	Species	Source and collectors	NTS bands number	ITS1,2 status
5	<i>P. litwinowii</i> Korsh.	Russia, Saratovskaya obl., Novouzenskiy r-n, koshara Togus-Molokan. Dry steppe. T.A. Feodorova. 27.08.2008 y. Latitude 50,15306, longitude 48,37383. (MW)	2 major, 1 minor	Not polymorphic
6	<i>P. brachiata</i> Bunge	Kustanayskaya obl., Ubaganskiy r-n, sovchoz imeny Щербакова. N. Pavlov. 04.08.1956 y. (MW)	1 major, 1 minor	Not polymorphic
7	<i>P. glaucescens</i> Iljin	Kazakhstan, Semiresche, Semipalatinskaya obl., south Aktogay. M.N. Lomonosova, A.P. Suchorukov. 25.09.2000 y. (MW)	1	Not polymorphic
8	<i>P. squarrosa</i> Bunge	Midlle Asia, Zautguzskie Kara-Kumy. S.V. Viktorov. 07.07.1953 y. (MW)	1	Not polymorphic
9	<i>Ofaiston monandrum</i> (Pallas) Moq.	Russia, Astrakhanskaya obl., ozero Baskunchak. Solt bank. T.A. Feodorova. 23.08. 2006 y.	—	Not polymorphic

2. Molecular-phylogenetic analysis.

DNA isolation, PCR, purification, sequencing.

Isolation of total DNA of 9 species followed the manufacturer's protocol with using Diatom DNA Prep 100 Kit (Izogen Lab., Moscow) from dry material. The ITS1, ITS2 and NTS regions were amplified with primers:

ITSL: 5'-TCGTAACAAGGTTTCCGTAGGTG-3';

ITS4: 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3' (White et al., 1990);

NTS 5S1: 5'-GGATGGGTGACCTCCCGGGAAGTCC-3';

NTS 5S2: 5'-CGCTTAACTGCGGAGTTCTGATGGG-3' [8]. PCR amplification followed in the manufacturer's protocol by Encyclo PCR Kit (Eurogen, Moscow).

The ITS1, ITS2 PCR products were electrophoresed using a 0.8 % agarose gel in a 0.5x TBE (pH 8.3) buffer and NTS PCR products were electrophoresed using a 1.5% agarose gel in a 0.5x TAE buffer, stained with ethidium bromide to confirm a single product, and purified using the Purification DNA Kit (Tsitokin, Saint-Petersburg). The sequencing was performed with an ABI Prism 3730 Genetic Analyzer (Centre of collective using "Genome", V.A. Engelgart Institution of Molecular Biology RAN).

We combined our data with the ITS1, ITS2 *Petrosimonia* (EF453458, AY489194, HM131642, HM131640, EF453456, HM131641, EF453457) data from NCBI GenBank previously published [1, 22]. *Ofaiston monandrum* is a sister clade to *Petrosimonia* genus and we used *Ofaiston* as outgroup, as was pointed out earlier [22].

Phylogenetic analyses.

Automated DNA sequencing chromatograms were proofed, edited, and contigs were assembled using Chromas 4.6 и Bioedit [11]. The clade *Petrosimonia*+*Ofaiston* is a fragment of Salsoleae tree with 200 sequences. The matrix result was then checked by eye for necessary minor correction to the alignment.

The Maximum Parsimony (MP) and Bayesian inference (BA) analyses were employed for phylogenetic analysis of the dataset. MP analysis were performed using PAUP 4.0b8 [20]. The Bayesian analysis were performed using MrBayes 3.1.2 [13, 17]. For Bayesian analysis the appropriate model of DNA substitution «SYM+I+G» was estimated using MrModelTest [16] and information criteria Akaike. Clade support was estimated using 1000 heuristic bootstrap replicates [9, 12].

Results and discussion

Internal transcribed spacers 1 and 2 (*ITS1* and *ITS2*) from *Petrosimonia* species (*P. monandra*, *P. oppositifolia*, *P. triandra*, *P. litwinowii*) and *Ofaiston monandrum* were amplified and sequenced. These sequences included few polymorphic nucleotides and consensus sequences were made and used in construction of phylogenetic trees. The trees were constructed by means of Maximum Parsimony and Bayes methods. The previously found sequences of *ITS1* and *ITS2* from other *Petrosimonia* species were also used in analysis. As a result three clusters have been identified. The clusters comply with Maximum Parsimony and Bayes trees, but statistical support is different: 1) *P. nigdeensis* and *P. triandra* (bootstrap support is 100%), 2) *P. squarrosa*, *P. glauca* and *P. glaucescens* (bootstrap support is 52%), 3) *P. monandra* and *P. oppositifolia* (bootstrap support is 58%). *P. litwinowii*, *P. brachiata* and *P. sibirica* locate in basal positions (in Maximum Parsimony tree) or grouped with the clusters (in Bayes tree) but bootstrap support is low (Fig. 1, 2).

Non-transcribed spacers (NTS) of 5S rDNA from 7 *Petrosimonia* species were amplified. Major 310 bp fragment was identified in *P. monandra*, *P. oppositifolia*. Major 320 bp fragment and minor 240 bp fragments were observed in *P. triandra*. Two major 300 and 110 bp fragments were detected in *P. brachiata* and *P. litwinowii*, but one additional 350 bp fragment was identified in *P. litwinowii* lane. These results suggest, that *P. brachiata* and *P. litwinowii* are hybridogenic species and *P. glaucescens* is the most likely parent (Fig. 3).

Likely *P. monandra*, *P. oppositifolia*, *P. glaucescens* and *P. squarrosa* are ancient stable species with different single NTS fragments and non-polymorphic *ITS1*, *ITS2*.

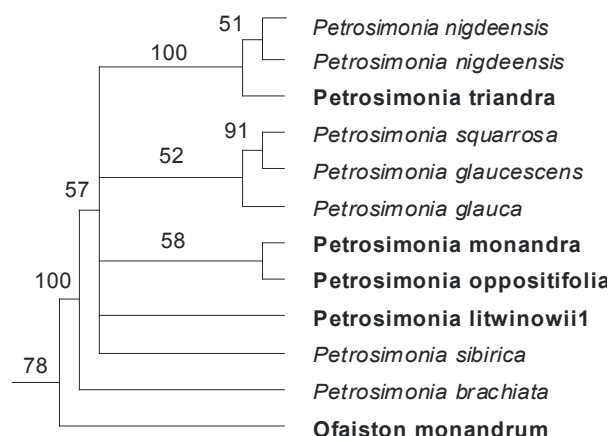


Fig. 1. Fragment of the maximum parsimony tree for *Salsoloideae* subgenus, *Caroxyloneae* tribe (*Petrosimonia* genus) (Feodorova, 2012). Bootstrap support values are indicated on branches. Data from GenBank is allocated by italics

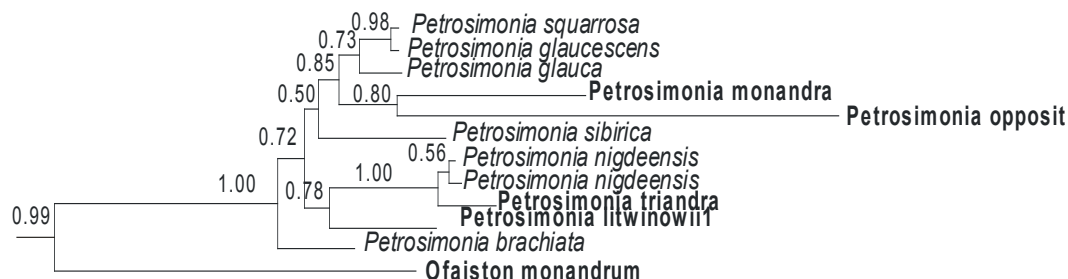


Fig. 2. Fragment of the Bayes tree for *Salsoloideae* subgenus, *Caroxyloneae* tribe (*Petrosimonia* genus). Posteriori probability values are indicated on branches. Data from GenBank is allocated by italics

P. triandra, *P. brachiata* and *P. litwinowii* are younger paleohybrids with two or three NTS fragments and homogenized ITS1, ITS2.

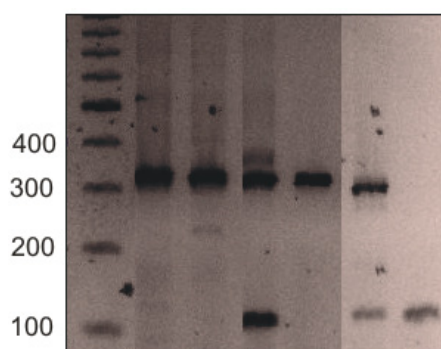


Fig. 3. Results of the NTS 5S rDNA amplification in *Petrosimonia* species: 1 – *P. monandra*, 2 – *P. triandra*, 3 – *P. litwinowii*, 4 – *P. oppositifolia*, 5 – *P. brachiata*, 6 – *P. glaucescens*

Basal non-clustered position in phylogenetic tree and non-polymorphic ITS1, ITS2 of *P. brachiata*, *P. sibirica* and *P. litwinowii* indirectly points to their hybrid origin. This fact is also confirmed by results of NTS analysis that indicated more than one NTS fragment in these species.

Thus, the taxonomic status of the *Petrosimonia* species may be adjusted. Section *Brachyphyllon* includes *P. brachiata*. Section *Synandra* Iljin includes *P. glauca*. This species has the most limited habitat. It is found only in the Caucasus, Iran and Central Asia. However, the related species (*P. glaucescens* and *P. squarrosa*) are found from China (Dzungaria, Hinggan) to the Lower Volga region and the Caucasus. Composition of this group does not coincide with the composition of section, since its type species (*P. oppositifolia*) is included in the second group, which includes *P. monandra* from *Petrosimonia* section. This section combines species with wide habitats (from China (Dzungaria and Hinggan) and southwestern Siberia to the Black Sea). *P. oppositifolia* was also noted in the Balkans. Third group includes *P. triandra* (*Triandra* Section) and *P. nigdeensis* (this species is described in Central Turkey). Species of this group also have a wide area (from the Dzungaria, Kashgar, Mongolia and western Siberia, to Saratov and Rostov regions in the north and Iran in the south). Thus, the position of *P. sibirica* and *P. litwinowii* can not be established, perhaps they form two independent sections.

Conclusions

As a result it can be concluded that species with basal low bootstrap position in clades may have non-polymorphic ITS1, ITS2, which are homogenized after hybridization, wherein ITS1, ITS2 analysis leads to false results. In these cases the phylo-

genetic tree analysis must be accompanied by the study of other markers (for example, NTS 5S rDNA).

References

1. Akhani H., Edwards G.H., Roalson E.H. Diversification of the Old World *Salsola* s.l. (Chenopodiaceae): molecular phylogenetic analysis nuclear and chloroplast data sets and a revised classification // Int. J. Plant Sci. 2007. V. 168, N 6. P. 931–956.
2. Akhani H., Trimborn P., Ziegler H. Photosynthetic pathway in Chenopodiaceae from Africa, Asia and Europe with their ecological, phytogeographical and taxonomical importance // Plant Syst. and Evol. 1997. V. 206. P. 187–221.
3. Bateman R.M., Pridgeon A.M., Chase M.W. Phylogenetics of subtribe *Orchidinae* (*Orchidoideae*, *Orchidaceae*) based on nuclear ITS sequences. 2. Infrageneric relationships and taxonomic revision to achieve monophyly of *Orchis* sensu stricto // Lindleyana. 1997. V. 12. P. 113–141.
4. Bunge A.A. Betrachtungen über die Familie der Chenopodieen. CHT, 1880.
5. Cox A.V., Bennett M.D., Dyer T.A. Use of the polymerase chain reaction to detect spacer size heterogeneity in plant 5S-rRNA gene clusters and to locate such clusters in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theor. Appl. Genet. 1992. V. 83. P. 684–690.
6. Dadejová M., Lim K.Y., Součková-Skalická K., Matyášek R., Grandbastien M.A., Leitch A.R., Kovarik A. Transcription activity of rRNA genes correlates with a tendency towards intergenomic homogenization in *Nicotiana* allotetraploids // New Phytologist. 2007. V. 174. P. 658–668.
7. Edwards G.E., Franceschi V.R., Voznesenskaya E.V. Single cell C_4 photosynthesis versus the dual-cell (Kranz) paradigm // Annual Review of Plant Biology. 2004. V. 55. P. 173–196.
8. Falistocco E., Passeri V., Marconi G. Investigations of 5S rDNA of *Vitis vinifera* L.: sequence analysis and physical mapping // Genome. 2007. V. 50. P. 927–938.
9. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap // Evolution. 1985. V. 39. P. 783–791.
10. Feodorova T.A. The reconstruction of historical biogeography of *Petrosimonia* Bunge (Chenopodiaceae Vent.) species based on horological and molecular data // Biogeography: methodology, regional and historical aspects: Proceedings of the conference dedicated to the 80-th anniversary of Vadim Nikolaevich Tikhomirov (1932–1997) (Moscow, 30 January – 3 February 2012) / Edited by M.A. Akhmetiev et al. Moscow: KMK Scientific Press, 2012. P. 232–235.
11. Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // Nucleic Acids Symp. 1999. Ser. 41. P. 95–98.
12. Hillis D.M., Bull J.J. An empirical test of bootstrapping as a method for assessing confidence in phylogenetic analysis // Syst. Biol. 1993. V. 42. P. 182–192.
13. Huelsenbeck J.P., Ronquist F.R. MrBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees // Bioinformatics. 2001. V. 17. P. 754–755.
14. Maughan P.J., Kolano B.A., Maluszynska J., Coles N.D., Bonifacio A., Rojas J., Coleman C.E., Stevens M.R., Fairbanks D.J., Parkinson S.E., Jellen E.N. Molecular and cytological characterization of ribosomal RNA genes in *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium berlandieri* // Genome. 2006. V. 49. P. 825–839.
15. Negi M.S., Rajagopal J., Chauhan N., Cronn R., Lakshmikumaran M. Length and sequence heterogeneity in 5S rDNA of *Populus deltoids* // Genome. 2002. V. 45. P. 1181–1188.
16. Nylander J.A.A. MrModeltest 2.3. Program distributed by the author. Evolutionary Biology Centre, Uppsala University. 2004.
17. Ronquist F.R., Huelsenbeck J.P. MrBAYES 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models // Bioinformatics. 2003. V. 19. P. 1572–1574.
18. Roquet C., Sáez L., Aldasoro J.J., Susanna A., Alarcé M.L., García-Jacas N. Natural delineation, molecular phylogeny and floral evolution in *Campanula* // Syst. Bot. 2008. V. 33. N 1. P. 203–217.
19. Schmidt T., Schwarzacher T., Heslop-Harrison J.S. Physical mapping of rDNA genes by fluorescent in-situ hybridization and structural analysis of 5S rRNA genes and intergenic spacer sequences in sugar beet (*Beta vulgaris*) // Theor. Appl. Genet. 1994. V. 88. P. 629–636.

20. Swofford D.L. PAUP*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and Other Methods). Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 2003.
21. Voznesenskaya E.V., Franceschi V.R., Kiirats O., Artyusheva E.G., Freitag H., Edwards G.E. Proof of C₄ photosynthesis without Kranz anatomy in *Bienertia cycloptera* (Chenopodiaceae) // The Plant Journal. 2002. V. 31. P. 649–662.
22. Wen Z.-B., Zhang Ming-Li, Zhu Ge-Lin, Sanderson S.C. Phylogeny of *Salsola* s.l. (Chenopodiaceae) based on DNA sequence data from ITS, psbB-psbH, and rbcL, with emphasis on taxa of northwestern China // Plant Syst. Evol. 2010. V. 288. P. 25–42.
23. White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // In: Innis M., Gelfand D., Sninsky J., White T. (eds.) PCR protocols: a guide to methods and applications. 1990. San Diego: Academic Press. P. 315–322.
24. Wissemann V. Genetic constitution of *Rosa* sect. *Canina* (*R. canina*, *R. jundzillii*) and sect. *Gallicanae* (*R. gallica*) // Journal of Applied Botany. 1999. V. 73. P. 191–196.

МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PETROSIMONIA* СЕМЕЙСТВА CHENOPODIACEAE JUSS.

Т.А. ФЕДОРОВА¹, О.С. АЛЕКСАНДРОВ².

(¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

² РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Исследование молекулярной филогении 10 видов рода *Petrosimonia* с использованием маркеров ITS1,2 ярдНК, показало его монофилию. Часть видов кластеризуются в три группы, другие виды не группируются с выявленными кластерами и занимают базальное положение. Нетранскрибируемые межгенные спейсеры (NTS) 5S ярдНК были амплифицированы у 7 видов *Petrosimonia*. Виды, образующие кластеры, имеют один фрагмент NTS. Виды с несколькими фрагментами NTS, группирующиеся с другими видами с низкой статистической поддержкой или занимающие базальное положение в кладе, имеют гибридное происхождение, но уже гомогенизированные последовательности ITS1,2 ярдНК. Использование этих последовательностей для филогении не отражает реального филогенетического положения исследуемых видов и приводит к неправильным реконструкциям эволюции таксонов.*

*Ключевые слова: *Chenopodiaceae*, *Petrosimonia*, молекулярная филогения, NTS и ITS1,2 ядерной рибосомальной ДНК, гомогенизация генома, систематика*

Feodorova Tatiana Anatolievna – PhD in Biology, Senior teacher of the Department of Higher Plants, Biology Faculty, Lomonosov Moscow State University (119991, Moscow, Leninskiye Gory, b.1, c.12.; e-mail: torreya@mail.ru).

Alexandrov Oleg Sergeevich – PhD in Biology, Senior scientist of the Centre for Molecular Biotechnology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: olegsandrov@gmail.com).

Федорова Татьяна Анатольевна – к. б. н., ст. преп. кафедры высших растений биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 12; e-mail: torreya@mail.ru).

Александров Олег Сергеевич – к. б. н., ст. науч. сотр. Центра молекулярной биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, Тимирязевская ул., д. 49; e-mail: olegsandrov@gmail.com).

УДК 633.1:631.559

ЭНЕРГОБАЛАНСОВАЯ ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВЫХ КУЛЬТУР

И.А. ШУЛЬГИН¹, Р.М. ВИЛЬФАНД², А.И. СТРАШНАЯ², О.В. БЕРЕЗА²

(¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;

²ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации»)

Рассматривается физиолого-метеорологический энергобалансовый подход к оценке прихода солнечной радиации (ФАР) к посевам и ее использования на процессы фотосинтеза, влагопотребления и транспирации, теплообмена со средой, на регуляторно-информационные фотобиологические процессы фотоморфогенеза, позволяющий выявлять максимально возможную продуктивность (МВП) и урожайность (МВУ) яровых злаков в оптимальных условиях роста и необходимое для них количество продуктивной влаги в почве. Отмечается роль критических радиационных периодов (КРП) в онтогенезе растений и возможность их учета в новых методах агрометеорологических прогнозов урожайности.

Ключевые слова: солнечная радиация, яровые злаки, энергетический баланс посевов, газообмен, влагообмен, максимально возможная продуктивность, максимально возможная урожайность, критические радиационные периоды, динамические модели продукционного процесса.

Как известно, одной из актуальных проблем, стоящих перед человечеством, является проблема продовольственных растительных ресурсов. Среди многих видов растений особая роль принадлежит таким культурам, как пшеница, ячмень, кукуруза, рис, соя и др., постоянно и повсеместно используемым в питании людей и значимым в обеспечении продовольственной безопасности каждой из стран.

Решение проблемы количества и качества пищевых продуктов связано как с экстенсификацией с.-х. производства путем расширения площадей под посевы и быстро растущие насаждения, так и с его интенсификацией. В обоих случаях стоит задача получения в короткие сроки максимально возможной биологической и хозяйственно ценной продукции с единицы площади земли. И эта задача может решаться на основе четко обоснованных научных представлений о возможностях непрерывно повышать продуктивность возделываемых культур.

В этой связи выращивание однолетних яровых культур, особенно зерновых злаков, представляется важным не только с практической, но и с научной стороны, поскольку посевы могут служить хорошим, с методической точки зрения, объектом изучения продукционного процесса и возможностей его оптимизации. Они моно-

видовые и при высокой агротехнике быстро растущие, имеют большое количество растений на ед. площади земли, доступных для изучения их структурно-функциональных параметров, обуславливающих формирование урожайности.

В этой проблеме — как и столетие назад, со времен А.И. Воейкова, П.И. Брунова, К.А. Тимирязева [2, 4, 25], — существует задача выявления однолетнего, а также среднемноголетнего (климатического, за 30 и более лет) «потолка» максимально возможной биологической продуктивности (МВП) и урожайности (МВУ) культур в оптимальных условиях роста в разных физико-географических регионах [4, 7, 17, 26, 27, 31].

Представления об МВП необходимы, чтобы, во-первых, знать те климатические (МК), при наличии и величине которых может формироваться в данном регионе однолетняя (ежегодная) и климатическая МВП*; они необходимы, во-вторых, для сравнения с МВП реальной, действительной максимально возможной продуктивности (МВДП) с целью выявления и количественной оценки причин, не позволивших получить близкую к максимальной продуктивность.

На основе представлений о динамике формирования посевов с МВП, а также данных о реальном ходе роста, об условиях роста можно прогнозировать состояние растений на последующих фазах роста и возможную величину конечной урожайности.

Сопоставление МВП и МВДП может позволять земледельцу обращаться в органы страхования посевов в случаях «недобора» урожайности относительно запланированных значений из-за непредвиденных экстремальных условий.

Величина МВП* той или иной культуры зависит, как известно, от трех компонентов: во-первых, от свойств используемых сортов; во-вторых, от агротехнических мероприятий в ходе формирования посевов; в-третьих, что особенно важно, от метеоклиматических параметров среды в период роста и развития растений [5, 13, 26, 28].

Первые два компонента поддаются регуляции и оптимизации, в то время как третий, непосредственно неуправляемый, необходимо учитывать, что требует оценки значимости для растений основных МК режимов — радиационного и гидротермического.

Среди МК режимов, необходимых для жизнедеятельности, к наиболее точным и однозначным для количественной оценки их роли в достижении соответствующей МВП следует отнести используемые растениями: энергию, без которой не осуществляется ни один процесс, и влагу, вне которой не протекает также ни один из процессов.

Влага (запасы продуктивной влаги в почве, ЗПВ) может поступать к растениям не только естественным путем, но и при орошении. Солнечная же радиация (СР) — единственный энергетический источник автотрофного питания организмов — незаменима, не поддается регуляции человеком и является лимитирующим физиологическую деятельность фактором [25, 27], именно которым определяется «потолок» МВП при оптимальном значении всех других условий.

Как известно, СР, поглощаемая растениями, совершает многообразную работу [10, 14], используя на различные высоко- и низкоэнергетические процессы: фотосинтез, дыхание, поглощение влаги и транспирация, теплообмен со средой, фотоморфогенез и т.д.

Формирование биомассы (М) обусловлено, прежде всего, совокупностью высокоэнергетических процессов фотосинтетической деятельности за счет прихода, поглощения и использования СР в области фотосинтетически активной радиации

(ФАР, 380–710 нм) [17, 18, 26]. Часть поглощенной энергии в ходе газообмена (фотосинтеза и дыхания) запасается в образуемой биомассе, тогда как другая, значительно большая, расходуется на транспирацию, теплообмен и т.д.

Формирование биомассы (М) растений обусловлено также совокупностью многочисленных низкоэнергетических процессов фоторегуляторной и фотоинформационной деятельности, совершаемой СР в области 380–750 нм [14, 28]. К ним относятся фотопериодизмы, фототропизмы, фотоактивация и фотореактивация, индукция «биологических часов», фотоморфогенез в целом и т.д.

Между тем в сельскохозяйственной практике при решении задачи выявления климатически обусловленной МВП в основном анализируются два метеофактора — тепловой и водный режимы воздуха и почвы [16], тогда как основной энергетический фактор в деятельности растений — солнечная радиация — остается недостаточно учитываемым, хотя в учебниках и пособиях, в том числе по агрометеорологии, все больше отмечается ее важное значение [8], основанное на сведениях из физиологии растений [14, 28]. К тому же существуют мнения о том, что, во-первых, СР не является лимитирующим фотосинтез и рост фактором, малоизменчива, а если она и изменяется, то это адекватно проявляется в изменчивости термического режима; во-вторых, приход СР к растениям — фактор, не поддающийся регуляции.

Необоснованность таких позиций заключается, в том, что т.н. «стабильность» прихода СР в том или ином регионе — это не что иное, как возможность отсутствия многолетнего тренда; однако при этом игнорируется реальный изменчивый приход СР в отдельные годы, в период вегетации в данном году. К примеру, в ходе регистрации СР в Метеорологической обсерватории МГУ установлено, что в Московском регионе тренды многолетних значений суммарной СР и ФАР за период 1958–2007 гг. практически отсутствуют [1] при значительной межгодовой и внутригодовой их изменчивости, варьирующей в разные сутки в период фотосинтетически активной деятельности (ФАД) посевов от 15 до 0,9 МДж/м² ФАР.

Не учитывается также, что в какой-то период (месяц, декаду, день) в данном регионе тепловой режим может обуславливаться адвективным фактором, независимо от величины прихода СР. Не всегда учитывается также, что поступление ФАР к растениям посева (насаждениям) определяется не только ее приходом над растениями, но и архитектурой самого фитоценоза [21, 26]. Часто ссылаются на то, что существуют трудности измерения СР, отсутствует или труднодоступна измерительная аппаратура и т.д. Действительно, лишь на небольшом количестве ныне существующих метеостанций, ведущих АМ наблюдения, измеряется СР и ее суточные суммы (Q). Однако существует сеть актинометрических станций Росгидромета, на которых, под методическим руководством ГГО им. А.И. Воейкова, ведутся регулярные наблюдения прихода СР, регистрируются и оцениваются не только суточные суммы, но и слагающие ее часовые значения [3].

Мало принимается во внимание то обстоятельство, что в отличие от термического режима посевов их радиационный режим намного изменчивее:

- в течение дня при безоблачном небе интенсивность приходящей суммарной ФАР (I_r) может изменяться от сотых долей Вт/м² в гражданские сумерки до 350–400 Вт/м² в полдень;

- в одни и те же часы дня I_r может весьма варьировать за счет облачности, меняющей ее интенсивность в 3–5 раз, причем при переменной облачности практически мгновенно;

- в отличие от температуры воздуха над посевом и внутри него, различающейся не более чем на 0,5–2°С в дневные часы, радиационный режим существенно

различен: к нижним листьям растений в хорошо сформированном посеве приходит около 3–5% ФАР из 100% над посевами.

В данной работе мы, как и ранее, подчеркиваем, что согласно концепции Тимирязева-Броунова о необходимости использования знаний о влиянии МК факторов, в том числе радиационного режима, на структурно-функциональную деятельность растений (чтобы ею управлять), есть основание считать, что МВП и МВУ посевов яровых культур при оптимальной агротехнике и достаточном количестве поглощаемой из почвы влаги определяется приходом ФАР в течение всего периода ФАД растений в данном регионе и в данном году.

В этой связи можно напомнить о том, что К.А. Тимирязев, разработавший еще в конце XIX в. принципиальные подходы к оценке потенциальной продуктивности растений (МВП) и опиравшийся на законы сохранения энергии Р. Майера и Г. Гельмгольца, неоднократно подчеркивал, что только на основе изучения энергетики физиологических процессов, баланса поступления и расхода солнечной радиации на рост и развитие растений можно получить количественное представление о максимальной производительности фитоценозов, включая посевы. Он прозорливо и точно, словно к сегодняшнему дню, писал, что *«Мы можем доставить растению сколько угодно удобрений, сколько угодно воды, можем, пожалуй, оберегать его от холода в теплицах, можем ускорить круговорот углекислоты, но не получим органического вещества более того количества, которое соответствует количеству солнечной энергии, получаемой растением от солнца. Это — предел, преступить за который не во власти человека. Но раз мы узнаем этот предел, мы получим настоящую, строго научную меру для предела производительности данной площади земли, а в то же время будем в состоянии судить о том, насколько наши культуры приближаются к совершенству...»* [25].

Под пределом производительности земли, т.е. под понятием «МВП», следует понимать, что результат функционирования посева обусловлен двумя факторами: величиной прихода суммарной ФАР (Q_s) за каждые сутки, за период ФАД и ее оптимальным поглощением посевом, которое зависит от оптимальной структуры (архитектуры) растений в посеве и оптимальной плотности посева в целом [17, 21, 26, 30].

Под оптимальной архитектурой и оптико-физиологической плотностью посева понимается определенное пространственное по его глубине размещение листьев на стебле с их азимутальной и наклонной ориентацией [21, 26, 27], позволяющее ему в радиационно сомкнувшемся состоянии поглощать не менее 80% ФАР и пропускать к поверхности земли около 3–5% I_f от солнца. При такой оптико-физиологической плотности посев, как уже отмечено, характеризует непереуплотненный фитоценоз. Посев может работать эффективно при разных I_f в течение дня. Принимается также, что посевы не испытывают недостатка (или избытка) ни во влаге, ни в минеральном питании и т.д.

Подчеркивая значимость именно солнечной радиации для получения МВУ (с единицы площади земли), К.А. Тимирязев писал: *«...окончательно неоправимо только расточительное, неумелое пользование главным источником народного богатства — Солнечным светом. Не утилизированный в данный момент, он утрачивается уже безвозвратно. Тогда станет понятно, что каждый луч Солнца, не уловленный растениями, а бесплодно отразившийся назад в мировое пространство, — кусок хлеба, вырванный изо рта отделенного потомка, а вместе с тем станет понятно, что владение землей не право или привилегия, а тяжелая обязанность, грозящая ответственностью перед судом потомства»* [25]. Следовательно,

предел МВП посева за период ФАД — это прежде всего радиационно обусловленная (РО) МВП, определяемая количеством приходящей и поглощаемой ФАР и, разумеется, эффективностью ее использования [17]. В данном случае радиационный «предел» — это в естественных условиях приход Q_f , имеющий место при безоблачной, сухой и чистой атмосфере с I_f , обычно не превышающей 400–480 Вт/м² лишь в околополуденные часы и с величиной максимального суточного Q_f в мае-августе 1980–2000 гг. в Московском регионе 15–16 МДж/м² [1]. Выдерживают и используют ли растения такие I_f и являются ли они оптимальными? Обратимся к экспериментальным данным из физиологии растений.

Листья светлюбивых растений (кукуруза, подсолнечник, тростник, хлопчатник и др.) при исследовании газообмена, его световых кривых, ориентированные перпендикулярно к потоку ФАР, могут при такой полуденной I_f фотосинтезировать достаточно эффективно лишь несколько десятков минут, после чего газообмен сам, и особенно за счет снижения устьичной транспирации (T), начинает снижаться, а температура тканей листа — повышаться [10, 11], что приводит в итоге к т.н. «полуденной депрессии фотосинтеза» за счет депрессии транспирации.

В действительности же листья растений, особенно верхних ярусов, имеют, как правило, в разной степени выраженную наклонную ориентацию [19, 21] и чем она больше, тем меньше на одной и той же единице поверхности листа I_f , практически почти никогда не достигающая полуденных значений [27].

С разной ориентацией листьев обусловлена тем, что они наиболее эффективно работают при т.н. «интенсивности радиации приспособления» (ИРП) [26], отвечающей, как нами было показано, среднедневной I_f (примерно 120–150 Вт/м²). В этом случае растения могут хорошо работать в течение дня как при малых (в утренне-вечерние часы), так и при достаточно больших (в околополуденное время) I_f .

Среднедневные значения I_f являются тем верхним средним пределом, при котором оптимально работает фотосинтетический аппарат единицы поверхности листа, и лишь за счет разной площади листьев меняется величина суммарного газообмена на свету.

Порой в публикациях говорится о желательности «улучшения» растений, их фотосинтетического аппарата, интенсификации его деятельности. При этом ссылаются не только на «могущество» науки, но и на результаты работ ряда ученых, проведенных в искусственных условиях фитотронов при выращивании, к примеру, яровой пшеницы при, казалось бы, экстремальной I_f порядка 1200–1600 Вт/м², что в 10–15 раз выше, чем среднедневная I_f от солнца [24]. Урожайность пшеницы в таких опытах достигала (в расчете на м²) до 200–250 ц/га.

К сожалению, мало знакомые со светофизиологией растений исследователи не учитывали то, что в таком посеве число растений специально отселектированного сорта с особой (почти вертикальной) ориентацией листьев достигало около 2000 на м² (вместо 300–500 в естественных условиях), а площадь листьев превышала 20–25 м² на 1 м² площади «земли» (вместо 4–5 м² на м² в полевом посеве). В таком созданном посеве и такой площади листьев на ее единицу (на см²) приходила в 8–10 раз меньшая интенсивность (80–120 Вт/м²). Таким образом, эти растения работали 16 час. при I_f , не превышающих среднедневные от солнца. Естественно, что и эффективность использования ФАР (Π_f) на формирование биомассы была не выше, чем у продуктивных посевов в естественных условиях [22, 24].

Приведем несколько иные, но сходные по существу данные. Так, в камерах фитотрона ИФР им. К.А. Тимирязева АН СССР с константными оптимальными

условиями водно-корневого питания и ФАР (без БИКР > 1100 нм), температуре воздуха 23°C, температуре листьев около 23–25°C показана возможность получения очень высокой урожайности ряда культур за короткие сроки. Например, масса зерна (M_z) яровой пшеницы Сиете Церрос 66 была получена [32] за 60–65 сут. в размере 1,8–2,0 кг/м² (около 200 ц/га) при интенсивности ФАР 120–150 Вт/м² и 24 ч фотопериоде при естественной концентрации CO₂ (0,03%). Эти экспериментальные исследования подтверждали вывод К.А. Тимирязева о том, что именно лучистая энергия солнца определяет верхний радиационный, и тем самым, при оптимальных условиях, — производственный предел.

Сформулированная К.А. Тимирязевым научная позиция, открывавшая программу совместных исследований физиологов и метеорологов, обращала внимание на важные аспекты энергетики растений:

- подчеркивался принцип строгого соответствия (равенства) между количеством получаемой (поглощаемой) энергии и ее расходом на физиологические процессы;

- в самом балансе прихода и расхода лучистой энергии растение является активным участником, не только зависящим в своей деятельности от приходной части, но и через использование энергии, на основе саморегуляции интенсивности процессов, адаптационных возможностей, изменения своей, способным влиять на интенсивность и количество приходящей радиации к фитоэлементам по глубине посева;

- лишь через представления об использовании энергии, о МВП и на основе материалов о реальной продуктивности посевов можно выявлять причины (факторы) — прежде всего метеоклиматические и (или) агротехнические, селекционно-генетические, за счет которых урожайность приближена или не приближена к максимально возможной.

Исходя из проблем, поставленных К.А. Тимирязевым, их значимости для развития физиологии растений, сельскохозяйственных наук, агрометеорологии, в начале 60-х гг. XX столетия были проведены экспериментальные исследования компонентов энергетического баланса (ЭБ) листа, растения, посева [10, 11, 26], разработки нового физиолого-метеорологического метода — метода составления и оценки ЭБ в целом, позволяющего решать вопросы о региональных климатических и однолетних «потолках» МВП [30, 31].

Исходно было принято положение о том, что ЭБ может количественно связывать воедино физиологические процессы в организме, позволяя судить об оптимальном (максимальном) и реальном использовании растением не только энергии, но и влаги в зависимости от температуры среды [10, 11, 17, 18]. С этих же позиций к проблеме энергетики и продуктивности посевов яровых культур в эти же годы (1953–1975) было привлечено в СССР и за рубежом внимание ученых разных специальностей (физиологов, физиков, метеорологов, математиков и др.), объединяемых Научным советом по фотосинтезу АН СССР, его председателем, зав. лабораторией фотосинтеза Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева, чл.-корр. А.А. Ничипоровичем, разрабатывавшим общую теорию фотосинтетической деятельности растений как совокупности сопряженных процессов по эффективному использованию СР на формирование высоких урожаев.

По существу спустя полвека было востребовано как для теории, так и для практики получения высокой урожайности классическое положение, высказанное академиком В.Н. Любименко о том, что «...с биологической точки зрения фото-

синтез есть прежде всего физиологическая функция организма, ему подчиненная и им управляемая. Кроме того, что особенно важно для биолога, фотосинтез есть только звено в цепи основных функций, совершающихся в организме одновременно и параллельно и взаимосвязанных друг с другом именно как звенья цепи» [27].

Таким образом, физиолого-метеорологическое направление исследования ЭБ растений можно рассматривать как неотъемлемый компонент обще-физиологических представлений о деятельности растений как целостных систем со своей гармоничной архитектурой процессов, направленных на максимальную в данных условиях экономичность жизнедеятельности как основы конкурентоспособности и выживания видов.

В данной работе мы поставили задачу на основе использования энергобалансового подхода оценить для ряда регионов России значения радиационно обусловленных МВР и МВУ, чтобы в последующем разработать для регионов России климатические «потолки» урожайности яровых культур.

В связи с тем, что формирование продуктивности, как результат газообмена, неразрывно связано с влагообменом растений (поглощением воды из почвы и ее использованием в ряде физиологических процессов), одновременно этим же способом, на основе анализа энергетического баланса решали задачу оценить количество продуктивной влаги в почве, необходимой для получения РО МВР.

Методические аспекты исследования

В основе методики энергобалансового анализа МВР лежит использование уравнения прихода, поглощения энергии ФАР и расхода ее на основные физиологические процессы [10].

Итак, рассмотрим энергетический баланс (ЭБ), приход и расход энергии на физиологические процессы.

Известно, что они совершаются в основном за счет физиологически активной радиации (ФАР, 380–750 нм), ее более узкой области (ФАР, 380–710 нм), хотя в ней протекает, кроме истинного фотосинтеза (P'), также фотодыхание (R_f), фототранспирация (T_f) и часть низкоэнергетических информационно-регуляторных процессов фотоморфогенеза, для которых большую роль играет и область 710–750 нм. Поэтому ЭБ отражает использование энергии прежде всего в диапазоне ФАР.

Само выражение (уравнение) ЭБ растения или посева за каждые сутки (основную единицу биологического времени) может быть представлено для области ФАР в упрощенном виде следующим образом [10, 27, 31]:

$$[Q \cdot k_f \cdot A_f = Q_{Af}] = [(Q_{Af} \cdot \Pi_{Af}) = Q_p = Q_m] + Q_T + Q_{IR}.$$

Здесь Q — приход суммарной интегральной СР (290–4000 нм); k_f — коэффициент перехода от Q к суммарной радиации в области ФАР (Q_f), равный в среднем 0,48; A_f — коэффициент поглощения ФАР растением или посевом; Q_{Af} — поглощенная ФАР. В расходной части баланса $Q_{Af} \cdot \Pi_{Af} = Q_p$ — доля поглощенной ФАР, идущей на фотосинтез (газообмен по CO_2 , P) в соответствии с коэффициентом эффективности ее использования (ЭИ ФАР) или, что тоже, с коэффициентом ее полезного действия (KPD_{Af} , Π_{Af}).

Фотосинтез P (газообмен) и необходимая для него энергия Q_p — разность между Q_p , используемой на истинный фотосинтез P' (поглощение CO_2 и H_2O , выделение O_2), и расходом энергии Q_R суммарного дыхания R . Величина Q_p равна за-

пасенной энергии (Q_M) в сухой биомассе M суточного прироста или в ее конечной величине.

Так как $Q_M = M \cdot q$, где q — энергоемкость (16,8 КДж/г абсолютно сухой биомассы), получаем величину биомассы M .

Чтобы от Q_{Af} перейти к Q_M и далее к M , необходимо знать величины Π_{Af} .

При оптимальных условиях роста растений (особенно в фитотронах) распределение Q_{Af} на Q_p (Q_M) в расходной части ЭБ примерно таково: за сутки на Q_p идет около 16%, на Q_R — около 6%, так что на Q_p целого организма приходится и запасается в биомассе (Q_M) около 10%, т.е. величина КПД_A (Π_{Af}) — отношение Q_M к Q_{Af} — достигает 10–12%.

Значение 10%-го КПД_A ФАР по газообмену и приросту M является близким к теоретическому и фактически максимально возможному для целого растения за сутки вне посева и в посеве, не зависящим от его возраста (до репродуктивной фазы или до окончания ФАД) и видовой принадлежности растений к С-3 или С-4 типам. В посеве продуктивных культур Π_{Af} по M может достигать в период S_{max} 12,5%. Посев же в целом за период ФАД может работать с КПД_A порядка 7–8%.

В оптимальных условиях высокопродуктивные культуры работают с КПД ФАР на запасание в конечной биомассе за весь период их вегетации (от всходов до уборки урожая) около 3–5% по приходящей [17] или 4–6% по поглощенной ФАР [27]. По отношению к периоду ФАД Π_{Af} может достигать 6–7%.

Q_T — энергия, расходуемая на физиологически необходимый и чрезвычайно полезный процесс — на *транспирацию* T , осуществляемую в листьях на свету, а у многих видов растений — и в темноте (в сопряженных с истинным фотосинтезом единых процессах) в виде *фототранспирации* T_f и «темновой» (т.е. светонезависимой) *термотранспирации* T_d , идущей во всех гетеротрофных органах на свету и в темноте.

На влагопотребление и расход поглощенной энергии на фототранспирацию (Q_{Tf}) у таких растений, как пшеница, ячмень, у которых транспирация осуществляется исключительно на свету, приходится 87–88%.

Процесс транспирации, помимо участия в поглощении влаги корнями, в передвижении в ней минеральных веществ позволяет сложнейшему фотосинтетическому аппарату в клетке (хлоропластам), не нагревая его, направляя почти 90% поглощаемой и преобразованной энергии ФАР на превращение жидкой воды в парообразную на поверхности клеток в межклеточном пространстве, оставаться «охлажденным» до температуры окружающего листья воздуха [27].

По существу $Q_T = K_T \cdot T$, где K_T — энергия (теплота) парообразования, а T — интенсивность транспирации. На T_f и T_d , независимо от механизма превращения в этих процессах жидкой воды в парообразную затрачивается около 2,42 КДж/г при 20–25°C. Для растений и посева за сутки в период ФАД T почти равна влагопотреблению. За весь же период вегетации в величину T входит поглощаемая влага, представленная, во-первых, подвижной, «свободной» влагой, быстро транспирируемой; во-вторых, временно «запасаемой» в структурах органов в виде «рыхло-» и «прочносвязанной» воды, медленно проходящей через них и так же в итоге испаряемой при усыхании органов; и, в-третьих, гигроскопической влагой (около 10–12%), сохраняемой в конечной воздушно-сухой биомассе.

При дефиците подаваемой из корней влаги часть энергии, не используемой на P и T_d , идет на нагрев тканей листьев (Q_t) на свету, и градиент температуры между листом и воздухом может быть больше нуля. Если же дефицита влаги в зоне корней

нет (например, при выращивании риса на «затопляемых» или хлопчатника на орошаемых полях), а температура воздуха высока, как и высока интенсивность ФАР, то температура листьев за счет T может быть ниже температуры воздуха. Наконец, небольшая часть (1–2%) $Q_{\text{АГ}}$ расходуется на многочисленные регуляторно-информационные процессы $Q_{\text{ИР}}$, процессы фотоморфогенеза, первая фаза которых протекает за счет очень низких I_f , с которых утром, еще в сумерки, начинается физиологический день, и ими же он заканчивается [35].

Способность использовать крайне низкие I_f адаптивно обусловлена тем, что в природе растения сталкиваются с «полутемнотой» (в сумерки) перед ночью и после нее, когда ФАД чрезвычайно мала или фактически прекращается, но есть необходимость и возможность с помощью регуляторно-информационной деятельности настраивать на следующий день «биологические часы» и ритмику процессов в соответствии с длиной фотопериода.

По существу состояние ЭБ при равенстве приходной и расходной его частей — одна из важнейших оптимизационных функций организма в целом, направленная на максимально эффективную работу в текущий момент, а тем более за сутки — основную единицу биологического времени [26, 27].

Из уравнения ЭБ (основной модели ЭБ), таким образом, следует, что для выявления РО МВП посевов за некий интервал времени необходимо для реальных условий знать, во-первых, численные значения компонентов приходной части ЭБ, во-вторых — величину ЭИ ФАР ($\Pi_{\text{АГ}}$), позволяющую рассчитать количество энергии, запасенной в Q_M и саму биомассу M , а отсюда — урожайность.

Перейдем к представлению используемых в работе необходимых данных для расчета РО МВП.

Прежде всего отметим, что все расчеты приведены в качестве примеров для среднесуточной (климатической) энергобалансовой оценки урожаев ранней яровой пшеницы и ячменя для Московской области, входящей в группу Центральных нечерноземных областей (ЦНЧО), а также Центральных черноземных (ЦЧО): Курской, Тамбовской, Воронежской; областей Среднего Поволжья — Самарской и Саратовской.

Актинометрические ежесуточные данные о приходе СР были ранее представлены ГГО им. А.И. Воейкова, а длительность периода ФАД (от всходов до конца цветения к началу фазы молочной спелости зерновок), как и данные о ЗПВ в почве за этот же период, использовали из архива Отдела агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра РФ.

Отметим, что в отличие от большинства работ, в которых рассматривается радиационный режим в регионах в связи с продуктивностью (Ефимова, Томилинг, Молдау и др.) в которых значения прихода ФАР приводятся помесечно или за период возможной вегетации со среднесуточной температурой выше, к примеру, 5° [10, 21, 26], в наших работах расчет сумм Q и Q_f делается исключительно за тот период онтогенеза, в течение которого растения способны использовать энергию на фотосинтетически активную деятельность (ФАД) с формированием новых приростов массы (т.е. на период ФАД), которая протекает практически от всходов (точнее — спустя 3–5 дней позднее) до периода формирования зародыша после цветения и начала молочной спелости зерновок, после которого поглощаемая радиация расходуется на теплообмен растения со средой и на физическое испарение влаги из усыхающих вегетативных органов и созревающих зерновок в колосе.

Значение K_f — доли суммарной ФАР в суммарной СР, равной 0,48 — основано на принятом в литературе значении [1, 26, 27]. Значения коэффициентов поглощения ФАР (A_f) листьями растений, сомкнутыми посевами в целом, и тем более за период ФАД, приняты равными 80% [26, 29–31]. Об этой величине, т.е. оптической плотности посевов, можно также косвенно судить на основе знания характера размещения растений и их количества на единице площади земли, по величине альбедо в области ФАР, на основе расчетных данных по оптическому дистанционному зондированию посевов со спутников (к примеру, такого показателя, как NDVI) [12].

Значение Π_{Af} принято равным 5%, т.е. более низким, не максимально возможным (7–8%), но в то же время отвечающим деятельности реальных высокопродуктивных посевов [18].

На основе принятого нами значения КПД_A и известных из физиологической литературы значений максимальных КПД (Π_f и Π_{Af}) по приходящей (Q_f) и (или) поглощенной (Q_{Af}) ФАР у высокопродуктивных посевов за сутки (за декаду и т.д.), выявленных экспериментально как в естественных условиях, так и в фитотронах [17, 18, 26], можно получать величины суточных приростов биомассы, накопления ее за период ФАД и за всю вегетацию в целом, т.е. величины M .

Принято известное условие, что практически вся поглощенная ФАР, не используемая на создание биомассы, идет полностью на транспирацию Q_T , обеспеченную запасами продуктивной влаги в почве и поэтому не расходуется на теплообмен листьев растений со средой. Отсюда из Q_T можно получить величину минимально необходимой влаги для транспирации, обеспечивающей формирование РО МВП.

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов энергетического баланса посевов яровой пшеницы и ячменя представлены в таблице 1. Представим среднеголетние значения радиационно обусловленной МВП в ряде областей России при оптимальности всех других условий, чтобы затем сравнивать с этой «нормой» однолетние значения МВП при других приходах ФАР или же при другом коэффициенте поглощения ФАР посевом. Это позволяет узнать тот «предел» (по К.А. Тимирязеву), на который следует ориентироваться и селекционеру, и земледельцу. Из нее следует, что приход ФАР к посевам был практически одинаков: в Московской и Курской областях период ФАД был длиннее (60 дней), но с меньшей суточной величиной, а в Саратовской он был короче (52 дня), но с большим суточным значением, что связано с климатической спецификой областей по количеству осадков, по облачности, по термическому режиму. Различие в приходе Q и Q_f в этих областях не превышает 10%.

Поскольку приняты одинаковыми для посевов в оптимальных условиях роста величины A_f и КПД_A то, естественно, близки сами значения величины $Q_p = Q_m$, на которые расходуется 22–23 МДж/м², что при энергоемкости абсолютно сухой массы порядка 16,8 КДж/м² отвечает величине общей биомассы к концу периода ФАД: около 135 ц/га для всех областей и среднее значение климатической РО МВУ (при принятом $K_{хоз} = 0,3$) равно около 39–40 ц/га.

Аналогичная или близкая величина для земледельческой зоны России, выраженная в биоклиматическом потенциале, составляет в среднем около 135 ц/га надземной воздушно-сухой биомассы [7], или около 150 ц/га общей биомассы.

Таблица 1

**Продолжительность периода фотосинтетической активной деятельности (ФАД)
и компоненты энергетического баланса посевов ранней яровой пшеницы ячменя
(среднемноголетние значения)**

Компоненты баланса	Области					
	Москов- ская	Кур- ская	Тамбов- ская	Воронеж- ская	Самар- ская	Саратов- ская
Продолжительность периода ФАД «Всходы-цветение, начало молочной спелости», дни	60	58	58	55	54	52
Приходящая ФАР за период ФАД (Q_f), МДж/м ²	564	557	557	540	562	582
Поглощенная ФАР (Q_{Af}), МДж/м ²	451	446	446	432	450	466
Используемая ФАР в фотосинтезе (газообмене) и запасаемая в биомассе (Q_M), МДж/м ²	22,6	22,3	22,3	21,6	22,5	23,3
Максимально возможная продуктивность (РО МВП), М, ц/га при КПД _{Аf} = 5%	135	133	133	129	134	139
Максимально возможная урожайность (РО МВУ), М ₃ , ц/га при $K_{хоз}$ = 0,3	40,5	40,0	40,0	39,0	40,0	42,0
Используемая ФАР на транспирацию (Q_T) для РО МВП, МДж/м ²	428	424	424	410	428	443
Количество продуктивной влаги в 0–100 см на транспирацию (Т) для РО МВП, мм	177	175	175	169	177	183
Количество продуктивной влаги в почве на действительную максимально возможную транспирацию (Т) для ВО МВП, мм	172	178	130	130	125	122

Компоненты баланса	Области					
	Москов- ская	Кур- ская	Тамбов- ская	Воронеж- ская	Самар- ская	Саратов- ская
Соотношение между Т для РО МВП и Т для ВО МВП	0,97	1,02	0,74	0,77	0,69	0,66
Максимально возмож- ная влагообусловлен- ная урожайность, ц/га	39	40	30	30	28	28
Максимально возмож- ная влагообусловлен- ная урожайность (ВО МВП) с учетом дыха- ния растений после периода ФАД, ц/га	38	39	29	29	27	27
Широта / Долгота, град	55,4 / 37,4	51,4 / 36,1	52,7 / 41,2	51,0 / 40,4	53,1 / 50,1	51,4 / 48,3

Как видим, в климатологическом отношении радиационная и термическая оценка МВП и МВУ дает, как и следовало ожидать, практически одинаковые результаты, поскольку именно радиационный режим тесно связан с термическим режимом за длительный интервал времени.

Для оценки МВУ необходимо, как уже отмечено, знать $K_{\text{хоз}}$ — долю урожая (т.е. зерна) в М посевах. Мы приняли, что масса зерновок M_z в общей массе растений ($K_{\text{хоз}}$) составляет в среднем 30%. Она может быть больше (до 40–42%) у сортов, высеваемых в более южных регионах, где выше в середине дня $I_{\text{в}}$ «укорачивающая» стебель; $K_{\text{хоз}}$ может быть меньше (25–30%) при пониженном приходе ФАР (облачность, загущенность посевов), вызывающем световую «этиоляцию» стебля, его утоньшение, и в итоге — снижение размеров и массы колоса.

Из данных таблицы следует, что если бы мы захотели более сжато представить эти же материалы, то можно было бы объединить как равные, результаты для Московской и Курской, Тамбовской и Воронежской, Самарской и Саратовской областей. Некоторым основанием для «объединения» областей в три группы является их физико-географическая близость в пределах группы, особенно по долготе. Иначе говоря, объединение областей по ЗПВ, по МВДУ — это результат сходства в деятельности посевов, обусловленной, по-видимому, климатическими причинами, независимо от того, что Московская и Курская области относятся к исходно разным природно-климатическим (почвенным) зонам. Однако, поскольку ныне вопрос урожайности современная почва решает не столько за счет своего естественного плодородия, сколько за счет вносимых минеральных удобрений, количество которых может даваться в равной мере в обеих областях, постольку МК факторы (по $Q_{\text{в}}$, по ЗПВ) оказываются решающими в продукционном процессе.

Как следует из таблицы 1, климатическая РО МВУ яровой пшеницы и ячменя составляет во всех областях около 40 ц/га. С учетом прихода, поглощения и воз-

возможного использования ФАР в начале периода молочной спелости, в течение которого колос может вносить свой вклад (2–4%) в газообмен CO_2 , МВУ достигала бы 42–43 ц/га. Такой уровень возможной урожайности несколько ниже желаемых значений в моделях «идеальных» сортов [6, 20].

По исходно принятым условиям, для получения РО МВП запасы продуктивной почвенной влаги не лимитируют фотосинтез и транспирацию и, согласно уравнению ЭБ, при КПД_А, равном 5%, на Q_T расходуется 92–93% Q_{Af} (около 428 МДж/м²). Этой энергии, которую необходимо расходовать на T , отвечают в Московской, Курской, Тамбовской, Самарской областях около 175–177 мм ЗПВ и несколько меньшие значения в Воронежской (169 мм) и большие в Саратовской области (183 мм). Отсюда, соотнеся T с величиной M , получим значение транспирационного коэффициента (ТК), равного примерно 130 г воды/г M и продуктивности транспирации (ПТ), составляющей около 7,7 г M /кг испаряемой воды. Расчетные значения ТК очень близки к минимально, а ПТ — к максимально возможным величинам, являющимся по существу энергетическими величинами КПД использования поглощенной влаги и полностью согласующимся с экспериментальными данными для посевов яровой пшеницы и ячменя в оптимальных условиях роста [13].

Между тем в реальной ситуации с изменчивостью условий среды максимально возможная действительная продуктивность (МВДП) обусловлена не только радиационными параметрами, но и Q_T и T , которые нетрудно рассчитать. Дело в том, что T у яровой пшеницы и ячменя осуществляется, как ранее отмечено, лишь на свету, зависит от ФАР (т.е. является фототранспирацией, T_f), функционально и строго пропорционально связана с процессами истинного фотосинтеза [27], газообмена, и поэтому она может при недостатке подаваемой влаги из почвы в листья снижать газообмен P и тем самым — прирост биомассы.

Это снижение T_f (и Q_T), вызываемое физиологической необходимостью не допустить «обезвоживания» листа, разрыва водяного «столба» в сосудах стебля, «разбаланса» между поглощением и расходом влаги, именно «требует» пропорционального уменьшения затрат поглощенной энергии на фотосинтез P' , чтобы ее избыток для T не шел на нагрев структур листа. Чтобы этого не произошло, в околополуденные часы у листьев может наблюдаться депрессия фотосинтеза, вызванная депрессией T . Одним из регуляторов этих взаимообусловленных процессов выступает устьичный аппарат: уменьшая T , он одновременно снижает поступление CO_2 в лист, P' и снижает затраты на прирост массы.

Итак, если по тем или иным причинам должна и может снижаться величина влагопотребления и суммарной транспирации, то почти в той же мере должен и может снижаться P и прирост M . В таком случае энергобалансовый подход позволяет сопоставить T климатическую ($T_{кл}$) по РО МВП с T действительной (T_d), а гидро(влаго) обусловленную МВП — с ГО ДВП, решающим фактором которой, после радиационного режима, выступает водный режим растений.

Рассмотрим эту возможность (табл. 1). Минимально необходимые ЗПВ должны были бы составлять 170–180 мм, а действительные климатические ЗПВ в 1 м слоя почвы за период ФАД составляли в разных областях от 170 до 120 мм, т.е. они были несколько меньше необходимых для получения РО МВП и МВУ. Следовательно, с учетом пропорциональности транспирации величине газообмена, на такие же величины отношения T действительной к T климатически необходимой для РО МВП меньше климатические действительные радиационно и влагообусловленные МВП и МВУ. При рассмотренном радиационном режиме и соответствующих ЗПВ дей-

ствительные гидрообусловленные максимально возможные значения урожайности (ГРО МВДУ) равны примерно для Московской и Курской около 39–40 ц/га, для Тамбовской и Воронежской — 29 ц/га, а для Самарской и Саратовской — лишь 28 ц/га. Следовательно, на фоне максимальной ГРО МВУ запасы влаги определили максимальную ГРО ДВУ.

Таким образом, посевы яровой пшеницы и ячменя могли бы при нынешних климатических значениях Q_f и ЗПВ иметь урожайность в ЦНЧО и ЦЧО, кроме Среднего Поволжья, не менее 30 ц/га. Однако за счет различий в приходе и использовании ФАР в разные годы РО МВУ и ГРО МВУ могли бы варьировать в пределах 20–65 ц/га при оптимальности всех других условий за такой же период ФАД, в те же сроки вегетации. Вероятно, более низкая среднеобластная урожайность могла быть обусловлена культурой земледелия, недостаточным корневым питанием, неравномерностью и недостаточностью прихода осадков в течение периодов ФАД и т.д.

Итак, приведенные в таблице 1 материалы, как примеры составления и использования энергобалансового подхода к оценке МВП и МВДП с учетом прихода и наличия ФАР, ЗПВ в почве, могут использоваться, во-первых, для оценки «нормы» среднемноголетнего «потолка» потенциальной и реальной урожайности яровых культур; во-вторых — для интегральной оценки однолетних значений этих величин; в-третьих — для оценки причин меньшей, чем возможно, урожайности культур в текущем году [23, 24].

Рассмотрим реальные возможности использования текущих данных о приходе ФАР для оценки конечной урожайности на основе ее прогнозирования. Вполне очевидно, что снижение прихода ФАР в любой период вегетации яровых культур может отрицательно сказаться на урожайности, что можно учесть, исходя из соотношения компонентов ЭБ, как и учесть последствия сниженного прихода ФАР, но при этом заранее прогнозировать время наступления и величину эффекта достаточно сложно. Совершенно по-другому обстоит ситуация, если снижение ФАР будет приходиться на «критические радиационные периоды», значение которых для растений очень велико.

Как известно, впервые указания на существование в онтогенезе «критических периодов» были высказаны основоположником агрометеорологии П.И. Броуновым [2]. В последующем стали известны и хорошо исследованы периоды высокой чувствительности растений к температуре воздуха и влаге в почве [14], но критические радиационные периоды (КРП) были выявлены и обоснованы нами [28] лишь в конце XX — начале XXI в. В ходе опытов исходно было показано, что затенение растений на 3–5 дней в разные фазы онтогенеза влияет на конечную урожайность неодинаково [28] (рис. 1). Ныне можно говорить о трех таких КРП для яровых злаков.

В первый КРП («Всходы — второй лист») на первом этапе органогенеза снижение I_f на 30–50% (энергетически всего лишь на 1–2% от прихода за период ФАД) в течение физиологической длины дня (особенно в гражданские сумерки) и, тем самым его радиационного укорочения влияет на урожайность [29], которая может составлять всего лишь 30–50% от максимально возможной. В этот период ростовые процессы осуществляются за счет питания запасами эндосперма зерновок. Фотосинтетический аппарат только начинает формироваться; газообмена по CO_2 еще нет. Лучистая энергия, причем низкой интенсивности, в сумерки оказывает лишь информационно-регуляторное действие через пигментные системы фотоморфогенеза, но тем не менее это трех-пятидневное кратковременное влияние оказалось (в опытах) чрезвычайно значимым в отношении конечной продуктивности. Это фоторегулятор-

Период затенения растений						
Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Цветение	Созревание	Масса зерна, %
						100
						90
						50
						70
						50
						70
						30

Рис. 1. Влияние затенения растений яровой пшеницы в разные периоды онтогенеза на массу зерновок колоса, в % к незатеняемому контролю

ное влияние осуществляется через закладку валиков зачаточных междоузлий, детерминацию проводящих и механических тканей стебля, размеров и массы стебля и листьев, дифференциацию и образование тканей зачаточного будущего соцветия, далее — элементов структуры колоса. Поэтому, оценивая текущие данные о сниженном приходе ФАР в этот морфофизиологический период роста, можно с большой заблаговременностью ожидать будущие возможные «потери» (недоборы) урожайности.

Такой эффект, негативный с хозяйственной точки зрения, адаптивен и позитивен для растений, позволяя им, заранее изменяя свою будущую архитектуру, расти в условиях последующего «ожидаемого» снижения прихода ФАР и укорочения фотопериода, иметь для этого меньший фотосинтез и меньшую массу дышащих органов и сохранять тем самым сопряженность основных процессов за сутки, работая с максимальным КПД_А ФАР.

Значимость погодных условий в период «Всходы – кущение» в отношении конечной урожайности отмечена (на примере Саратовской области) и в работе Р.Р. Полуэктова с соавторами [25], в которой также подтверждается концепция критических периодов в жизни растений.

Второй КРП наступает на V этапе органогенеза — этапе образования и дифференциации качественно новых (генеративных) органов [15], когда независимо от культуры и сорта формируется максимальное количество зачаточных цветков (100–200 шт.). При снижении I_r на этом этапе усиливается асинхронность заложения и развития цветков, усиливается разнокачественность органов соцветия, и поэтому в ходе саморегуляции и адаптации к условиям среды и для выживания вида происходит т.н. «сброс» (физиологическое и структурное отмирание «ненужных») менее развитых и менее качественно сформированных цветков [28]. Проявление этого качественного и количественного эффекта хорошо заметно уже на VI — начале VII этапах органогенеза. Данный КРП, также кратковременный (3–5 дней), совпадает с началом V этапа в то время, когда происходит полное радиационное смыкание посева, и его плотность достигает 2,0–2,5 м²/м². В то же время максимальное

(потенциальное) количество формирующихся на V этапе зачаточных цветков отражает не только специфику сорта, но и существенную зависимость от интенсивности ФАР. Действительно, если в этот КРП приход ФАР может оказаться сниженным и к тому же посев может стать, в зависимости от скорости роста, достаточно плотным, то это будет ослаблять I_r и в самом посеве. Тем самым, зная приход ФАР в этот КРП, можно оценивать степень негативного влияния на формирование колоса, количество и массу зерновок, т.е. на конечную урожайность, «снижение» которой может достичь 35–45% от возможных значений.

В третий КРП («Предцветение», за 2–3 дня до цветения, на VIII этапе органогенеза), совпадающий у пшениц с выколашиванием, снижение прихода ФАР в сумерки, и тем самым укорочение воспринимаемого растениями фотопериода [29] может существенно влиять на гормональную регуляцию качества пыльцы, степень фертильности (стерильности) цветков в ходе оплодотворения на IX этапе, на количество и качество будущих зерновок. Учет сниженного прихода ФАР в этот период может позволить заранее, за 20–25 дней до созревания и уборки урожая, оценить величину возможных «потерь» урожайности, которые могут достигать 45–50% от возможной (рис. 1). Так, если в «норме», при обязательном «сбросе» элементов соцветия (колоса) в ходе его развития, из 100% зачаточных цветков сохраняется около 28–30% в виде зерновок (что является оптимальным КПД озерненности, K_z [28]), то при снижении ФАР в КРП «...разрыв между потенциальной продуктивностью сорта и реальной зачастую достигает огромных размеров»: вместо 25–30 зерновок может формироваться 10–15 и менее [15].

Таким образом, учет радиационных условий в периоды особо высокой чувствительности растений к I_r к длине фотопериода (включающего периоды сумерек) может быть в дальнейшем полезным как при оценке конечной урожайности посевов, так и в агрометеорологических прогнозах возможной продукции.

Значимость, оправдываемость прогнозов основывается, действительно, на том, в какой мере агрометеорология, как и столетие назад, со времен К.А. Тимирязева и П.И. Броунова, базируясь на двух «столпах»: физиологии растений и метеорологии, — получает и использует знания о влиянии метео-климатических факторов, в том числе радиационного режима, на структурно-функциональную деятельность растений, изучение которой все четче показывает многогранность «состава» и действия факторов среды, и все чаще выявляющей нелинейность, неаддитивность реакций на них.

Приведенные в работе среднееголетние величины параметров ЭБ посевов — интегральные, приближенные, в известной мере вероятностные: в них не отражена динамика прихода ФАР по декадам, фазам; как и динамика запасов продуктивной влаги в почве не просто в 1 м слое, а по глубинам (0–20, 0–50, 50–100 см), в которых осуществляется основная деятельность корневых систем. Очевидно также, что для более детальной оценки МВУ и ДВУ необходимы точные данные не только о влагозапасах в 1 м слое почвогрунтов, но и о малоучитываемой влаге неустойчивого завядания растений при разных физических состояниях почвы, тем более с учетом соотношения параметров «Радиация — запасы влаги в слоях почвы». По чисто биологическим причинам не может быть точным период каждой из фаз и период ФАД в целом. К тому же имеются методические трудности в определении длительности каждой из фаз состояний растений, которые в известной мере преодолеваются опытом наземных агрометеорологических наблюдений на «контрольных» посевах. Так, известно, что между окончанием фазы цветения и оплодотворения (IX этап

органогенеза) и наступлением фазы молочной спелости (XI этап) у яровых злаков протекает период формирования зародыша. Длительность этого периода может достигать 15–20 дней. Очевидно, что для уточнения длительности каждого из периодов со спецификой в них физиологических процессов желательно было бы использовать микроскопическую технику о состоянии и о прохождении этапов органогенеза верхушечного соцветия [15], а также учитывать сопрягаемые с фазами данные о суммах среднесуточных активных и эффективных температур воздуха, а также о суммах температур дня и ночи.

В данной работе мы не касались вопросов термического режима посевов, приняв исходно его оптимальным. Тем не менее можно отметить, не приводя здесь соответствующих расчетов, основанных на данных таблицы 1, что при реальных ЗПВ часть поглощенной ФАР, не используемой на транспирацию, расходуется на теплообмен со средой [11]. В этом случае у листьев растений в таких областях ЦЧО, как Тамбовская и Воронежская, в течение дня температурный градиент (разность между температурой воздуха и температурой листьев) мог быть равен в среднем примерно $2,1^{\circ}$ и возрастать к середине дня до $4\text{--}6^{\circ}$, а в Самарской и Саратовской в околополуденные часы — до $7\text{--}8^{\circ}$. Естественно, что это внесет дополнительные коррективы в характеристики дневного термического режима посевов, влияющего на еще большее снижение T при тех же ЗПВ, на сопряженное с ней снижение интенсивности фотосинтеза, на увеличение «темнового» (термозависимого, светонезависимого) дыхания, и в итоге — на существенное уменьшение продуктивности и урожайности посевов.

Мы также не касались вопросов изменения величин ряда компонентов ЭБ, влияющих на количество поглощаемой ФАР ($Q_{\text{АФ}}$) при том же ее приходе ($Q_{\text{р}}$). Так, в частности, $Q_{\text{АФ}}$ зависит от $A_{\text{р}}$, и в случае поражения поверхности листьев злаков некоторыми фитопатогенами может увеличиваться альбеда листьев и посева в целом и снижаться $A_{\text{ф}}$, а отсюда — и $Q_{\text{АФ}}$, газообмен и величина биомассы. Однако $Q_{\text{АФ}}$ может снижаться при том же приходе ФАР, если будет поражаться (поедаться) наиболее тонкая часть мезофилла листьев, за счет чего снижаться реальная площадь поглощения ФАР и фотосинтетически активных тканей в тех же листьях. Тем не менее анализ таких изменений, особенно с учетом прихода ФАР и возможностей ее использования, не только интересен, но и важен для разработки и применения все более детализированных динамических моделей продукционного процесса, необходимых для успешных АМ прогнозов урожайности с.-х. культур [5, 16, 20, 22]. Поэтому представленное в статье является, по нашему мнению, одним из первых, новых шагов в перспективном направлении развития радиационной агрометеорологии и решаемых ею научно-прикладных задач.

В данной работе мы ставили задачу дать представление о возможности и необходимости в дальнейшем теоретической и экспериментальной разработки, в дополнение к существующим методикам [16] нового, физиолого-метеорологического, «радиационного» подхода к оценке значимости солнечной радиации в продукционном процессе с.-х. культур, к учету ее в разрабатываемых прогнозах урожайности, что будет способствовать их дальнейшему совершенствованию.

Библиографический список

1. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона. М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2012. 312 с.
2. Броунов П.И. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 1. СПб., 1901. 84 с.

3. Бычкова А.П., Казеев Ю.И., Кривонощенко В.И., Луцько Л.В., Соколенко С.А. Новые приборы для актинометрических наблюдений на сети // СПб., Труды ГГО им. А.И. Воейкова, 2008. Вып. 557. С. 133–146.
4. Воейков А.И. Задачи сельскохозяйственной метеорологии. Т. IV. М.: АН СССР, 1957. С. 259–267.
5. Вильфанд Р.М., Страшная А.И. Климат, прогнозы погоды и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства в условиях изменения климата // В кн.: «Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям». М.: Изд-во РГАУ-МСХА. 2011. С. 23–38.
6. Гончаров Н.П., Гончарова П.Л. Методические основы селекции растений. Новосибирск: Гео, 2009. 427 с.
7. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика М.: Тов. научн. изд. КМК, 2006. 512 с.
8. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. 1. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. 808 с.
9. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 215 с.
10. Клешнин А.Ф., Строгонов Б.П., Шульгин И.А. К вопросу об энергетическом балансе листьев растений // Физиология растений. 1955. Вып. 6. С. 1211–1217.
11. Клешнин А.Ф., Шульгин И.А. О связи между транспирацией и температурой листьев растений в естественных условиях // Докл. Выездной сессии ОБН в г. Казани. Казань: КазГУ, 1960. С. 46–59.
12. Клещенко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Спутниковый мониторинг состояния и продуктивности посевов зерновых культур. Обнинск: ФГБУ «ВНИИСХМ», 2013. С. 54–70.
13. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010. 638 с.
14. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2006. 742 с.
15. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. М.: «Высшая школа», 1984. 240 с.
16. Лебедева В.М., Страшная А.И. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. 2. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Кн. 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование // Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД. 2012. 216 с.
17. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев // Тимирязевские чтения. XV. М.: АН СССР, 1956.
18. Ничипорович А.А., Шульгин И.А. Фотосинтез и использование энергии солнечной радиации // В кн.: «Ресурсы биосферы». Т. 2. Л.: Наука, 1976. С. 6–55.
19. Полонский В.И. Анализ продукционной деятельности пшеницы при высоких интенсивностях ФАР // Физиология растений. 1980. Вып. 4. С. 573–584.
20. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд. С.-Петербург. ун-та, 2006. 396 с.
21. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 342 с.
22. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 167 с.
23. Страшная А.И. Состояние и проблемы оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства на федеральном уровне в условиях глобального изменения климата // Труды ВНИИСХМ. 2007. Вып. 36. С. 78–91.
24. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Оперативное агрометеорологическое обеспечение аграрного сектора экономики России в условиях изменения агроклиматических ресурсов. Обнинск: ФГБУ «ВНИИСХМ», 2013. С. 21–40.
25. Тимирязев К.А. Солнце, жизнь и хлорофилл. М.: Сельхозгиз. Т. 1, 1948. С. 82–692.
26. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.

27. Шульгин И.А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений. Фитометеорологические и эколого-географические аспекты. М.: Альтекс, 2004. 141 с.
28. Шульгин И.А. Солнечные лучи в зеленом растении. Физиолого-метеорологические аспекты. М.: Альтекс, 2009. 217 с.
29. Шульгин И.А., Страшина А.И. Солнечная радиация и агрометеорологическая оценка состояния посевов с.-х. культур и их урожайности // В кн.: «Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий». Петрозаводск: Ин-т биол. Карел. филиала РАН, 2015. С. 310–312.
30. Шульгин И.А., Тарасова Л.Л. Физиолого-метеорологические аспекты регуляции продукционного процесса яровых культур солнечной радиацией. Обнинск, ФГБУ «ВНИИСХМ», 2013. С. 109–132.
31. Шульгин И.А., Чуб О.В. Использование физиолого-метеорологического энергобалансового подхода для оценки среднесуточной радиационно- и влагообусловленной урожайности яровых культур в центральных Нечерноземных и Черноземных областях России // В кн.: «Физиология растений — теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий». Т. 2. Калининград: Аксиос, 2014. С. 509–511.

ENERGY-BALANCE APPROACH TO EVALUATION OF SPRING CROPS YIELD

I.A. SHUL'GIN¹, R.M. VIL'FAND², A.I. STRASHNAYA², O.V. BEREZA²

(¹ Lomonosov Moscow State University, ² Hydrometeorological Centre of Russia)

In the framework of global problem of agriculture intensification the problem of maximum possible productivity (MPP) and maximum possible yield (MPY) of spring crops (wheat, barley, corn and others) is still unsolved for the specific geographical regions. Following the results of K.A. Timiryazev and A.A. Nichiporovich we accepted the hypothesis that the main climate factors limiting the threshold of MPP are the following: the incoming solar radiation, the absorption of photosynthetically active radiation (PAR) by the crop (80–83%) during the period of its photosynthetically activity (PA) and using of PAR in the gas exchange with efficiency larger than 5%.

On the ground of the energy-balance approach the PAR inflow during the period of PA (from the shoots up to the end of flowering) for wheat and barley is calculated for Moscow, Kursk, Tambov, Voronezh, Samara and Saratov areas. It is shown that MPP value may achieve 130–140 centners per hectare, MPY — 38–42 centners per hectare. Under optimal soil humidity conditions, more than 90% of PAR is spent on transpiration (T). It is noted that to obtain the MPP of crop during PA period it is necessary to use for T approximately 180 mm of productive moisture in 1 m of soil. As for wheat and barley the transpiration occurs only in the light (phototranspiration) and depends on the gas-exchange, the decreasing of the content of productive moisture (SPM) in the soil is proportional to the decreasing of transpiration and gas-exchange.

Using the data of SPM during the period of crop PA the maximum possible valid yield, determined by moisture and radiation conditions, is calculated. It achieves 38–40 centners per hectare in Moscow and Kursk areas, 31–33 centners per hectare in Tambov and Voronezh areas, and approximately 28 centners per hectare in Samara and Saratov areas. Noticeably that decreasing of PAR and SPM leads to the decreasing of gas-exchange and weight gain, especially during the critical radiation periods of ontogeny. It is emphasized that the PAR accounting is especially important both for the assessment of current crop conditions and forecast of possible yield.

Key words: solar radiation, spring cereals, energy balance of stands, gas exchange, moisture exchange, maximum possible productivity (MPP), maximum possible yield (MPY), crucial radiation periods, dynamic models of production process.

Шульгин Игорь Александрович — д. б. н., проф. кафедры метеорологии и климатологии МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; тел.: (495) 939-29-42; e-mail: ufarin@yandex.ru).

Вильфанд Роман Менделевич — д. т. н., директор ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (123242, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, д. 11-13; тел. раб.: (499) 252-34-48; e-mail: vilfand@mecon.ru).

Страшная Анна Ильинична — к. г. н., зав. отделом агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (123242, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, д. 11-13; тел.: (499) 252-42-48; e-mail: ais@mecon.ru).

Бережа Ольга Викторовна — зав. лабораторий зерновых культур ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (123242, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, д. 11-13; тел.: (499) 252-42-48; e-mail: chub@mecon.ru).

Shul'gin Igor'Aleksandrovich — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Meteorology and Climatology of Lomonosov Moscow State University, leading researcher of the Hydrometeorological Centre of Russia (119991, Moscow, Leninskie gori 1; tel.: +7 (495) 939-29-42; e-mail: ufarin@yandex.ru).

Vil'fand Roman Mendelevich — Doctor of Engineering Science, Head of the Hydrometeorological Centre of Russia (123242, Moscow, Bolshoy Predtechenskiy pereulok, 11-13; tel.: +7 (499) 252-34-48, e-mail: vilfand@mecon.ru).

Strashnaya Anna Ilinichna — PhD in Geography, Head of the Department of Agrometeorological Forecast, the Hydrometeorological Centre of Russia (123242, Moscow, Bolshoy Predtechenskiy pereulok, 11-13; tel.: +7 (499) 252-42-48; e-mail: ais@mecon.ru).

Bereza Olga Viktorovna — Head of the Laboratory of Grain Crops, the Hydrometeorological Centre of Russia (123242, Moscow, Bolshoy Predtechenskiy pereulok, 11-13; tel.: +7 (499) 252-42-48; e-mail: chub@mecon.ru).

УДК 639.371.7:591.86

**РОСТ И АНАТОМО-ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ОСЕВОЙ МУСКУЛАТУРЫ АФРИКАНСКОГО СОМА
CLARIAS GARIEPINUS (BURCHELL)****А.В. ЗОЛотова, В.П. ПАНОВ, Ю.И. ЕСАВКИН, Е.А. ПРОСЕКОВА****(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)**

В статье рассматриваются вопросы, связанные с ростом и развитием соматических структур африканского сома в процессе выращивания в системе замкнутого водоснабжения. Выявлены возрастные изменения морфометрических показателей, определен абсолютный и относительный рост соматических структур организма рыб. Изучено гистологическое строение белой мускулатуры и взаимосвязь размеров и плотности волокон с массой и длиной тела сомов. Проведены данные по тканевому составу мышц и их динамике. Делается заключение о необходимости дальнейших исследований африканского сома как объекта аквакультуры.

Ключевые слова: африканский сом, длина и масса рыб, гистоструктура мышечных волокон, соотношение тканей, относительный рост, гиперплазия, гипертрофия

Африканский сом в последнее время занимает все более значительное место в системе пресноводной аквакультуры. Это касается как объема производства, так и научных исследований, проводимых в различных странах мира, в том числе и в России [2, 17, 18, 27]. Большое внимание уделяется вопросам, связанным с ростом и развитием различных возрастных групп сомов, кормлением с добавками различных компонентов особенно растительного происхождения и процессами созревания половых продуктов [15, 18, 20]. Ряд работ посвящен гибридизации *Clarias gariepinus* с другими видами сомовых [24, 26]. В связи с особенностями респираторной системы и способностью обходиться малым количеством кислорода много исследований связано с выращиванием сомов при различных плотностях посадки [18, 21, 22, 24]. Важный фактор при выращивании этого вида — конкурентное поведение, конечным результатом которого является каннибализм [22]. Африканский сом обладает высококачественным мясом, однако процессы роста этой части тела освещены недостаточно. Можно отметить некоторые исследования, направленные на установление гистоструктуры мышц молоди и товарных качеств коммерческих размеров клариевого сома [16, 21, 28].

Целью нашего исследования явилось установление особенностей роста соматических структур и гистологии мускулатуры африканского сома.

Методика исследований

Исследования были проведены в аквариальной кафедре пчеловодства и рыбоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Сомов с начальной массой 0,63 г выращивали в 250 л бассейнах при температуре 28–30°C. Плотность посадки составляла на начало опыта 400 шт/м³ при ее постепенном уменьшении в конце опыта до 120 шт/м³. Уменьшение плотности посадки было связано с естественной элиминацией, каннибализмом и искусственным выловом части рыб. Продолжительность выращивания рыб — 159 дней. Кормление рыбы осуществляли форелевым гранулированным кормом фирмы Kraft. Для изучения особенностей роста клариевого сома была изучена морфометрия рыб и морфологические показатели, характеризующие их товарные качества [5, 12]. Также была измерена «большая длина головы» — расстояние от переднего края рыла до каудального края головного щита (затылок). Образцы белой туловищной мускулатуры взяты под первыми лучами спинного плавника. Для установления изменений гистоструктуры в белых мышцах рыб измеряли диаметр волокон и их плотность. Методом проекции устанавливали относительное количество жировой ткани. Соотношение тканей мышечной и соединительной определяли стереометрически [1]. Полученные данные легли в основу для расчета уравнений относительного роста частей тела, а также диаметра и плотности мышечных волокон [4, 8]. Экспериментальный материал обработан статистически с использованием компьютерной программы «Статистика».

Результаты исследований

Масса рыб, взятых на исследование за период выращивания (173 сут.) увеличилась в 678, порки — в 678, тушки — 1021, головы — в 779 раз. Интенсивность роста головы существенно ниже, чем структур, включающих в себя мышечную массу. Судя по динамике количественных показателей порки, наименьшее увеличение массы характерно для внутренностей (в 237 раз), однако отдельные внутренние органы могут расти с большей скоростью.

Анализ изменений массы частей тела по периодам выращивания говорит о неравномерности их роста. Наиболее существенное увеличение массы соматических структур отмечено в начальный период постнатального онтогенеза. В это время (35 сут.) масса рыб увеличивается в 30,0 раз, в следующие 45 сут. — в 4,8 раза, а во второй половине выращивания (93 сут.) — в 4,7 раза. Порка, тушка и голова в исследуемые периоды подвержены более существенным изменениям, особенно в начале выращивания. Масса порки увеличивается в 34,9–5,1 раза, тушки — в 35,9–5,0 раз, головы — в 32,6–4,5 раза. В возрасте 50 дней и в последующем наблюдается развитие гонад.

Относительные показатели соматических структур также подвержены изменениям. Выход порки и тушки существенно повышается. Разница между началом и концом эксперимента составляет для порки 21,7% ($P \leq 0,05$), для тушки — 20,1% ($P \leq 0,05$). Наибольшее увеличение этих структур отмечено в первую половину выращивания. Относительная масса головы колеблется в небольших пределах. Коэффициент зрелости гонад не превышает 1% (II стадия зрелости).

Морфометрические абсолютные показатели за период выращивания изменяются. Большая длина у рыб увеличивается в 9,8 раза, малая — в 10, головы — в 13,3 высота — в 8,5 раз, обхват — в 8,8 раз. Судя по этим данным, интенсивность роста головы сомов выше, чем других частей тела. Относительные величины частей тела изменяются в меньшей степени. Их соотношение в конце эксперимента довольно постоянно. При этом высота и обхват тела рыб с ростом рыб уменьшаются на 14,3 и 12,2% , а малая длина и длина головы увеличивается на 1,7 и 36,7% (табл. 1).

Динамика морфометрических показателей рыб

Структуры	Продолжительность эксперимента							
	1	13	35	50	80	101	159	173
Масса рыб, см	0,63	3,58	19,09	49,51	90,68	182,75	290,85	447,45
Длина рыб (L), см	3,90	7,27	12,23	18,20	24,40	27,97	33,45	38,50
Масса, г:								
Порка	0,42	2,83	14,66	42,13	77,96	159,08	260,14	397,56
Тушка	0,29	2,01	10,42	31,23	58,77	118,82	185,10	296,26
Голова	0,13	0,81	4,25	10,90	19,17	40,28	75,07	101,30
Гонады				0,29	0,77	1,79	2,21	38,84
% от массы рыбы								
Порка	67,2 ± 4,51	78,9 ± 1,70	76,9 ± 1,38	85,1 ± 1,26	86,0 ± 1,85	87,1 ± 0,73	89,4 ± 0,27	88,9 ± 1,12
Тушка	46,1 ± 3,10	56,1 ± 1,67	54,7 ± 1,89	63,1 ± 1,06	64,8 ± 1,90	65,0 ± 0,66	63,6 ± 2,24	66,2 ± 0,98
Голова	21,1 ± 1,41	22,9 ± 2,31	22,3 ± 0,75	22,0 ± 0,66	21,1 ± 1,20	22,0 ± 0,34	25,8 ± 1,97	22,6 ± 0,15
Гонады	—	—	—	0,60 ± 0,13	0,83 ± 0,20	0,98 ± 0,07	0,76 ± 0,11	0,86 ± 0,09
Промеры, см								
Длина рыб (l)	3,4	6,4	10,7	15,9	21,3	24,3	29,5	34,0
Высота	0,7	1,2	2,1	2,4	3,0	3,9	4,0	5,5

Обхват	2,0	3,3	6,5	8,3	10,2	12,7	15,0	17,4
Длина головы: малая большая	0,7 1,0	1,5 1,8	2,5 3,4	4,1 4,9	5,0 5,9	6,1 7,3	7,5 8,9	9,3 9,7
% от длины рыб (L)								
Длина (l)	86,8 ± 0,99	88,0 ± 0,64	87,2 ± 0,28	87, ± 20,43	87,2 ± 0,81	87,0 ± 0,49	88,1 ± 0,27	88,3 ± 0,16
Высота	16,7 ± 0,31	15,8 ± 0,23	16,9 ± 0,60	13,2 ± 1,35	12,2 ± 0,80	13,8 ± 0,54	12,0 ± 0,33	14,3 ± 0,83
Обхват	50,9 ± 2,04	45,3 ± 1,50	53,1 ± 1,45	45,8 ± 0,95	41,9 ± 2,07	45,3 ± 2,44	44,8 ± 2,49	45,2 ± 0,34
Длина головы: малая большая	18,0 ± 0,45 25,2 ± 0,44	20,7 ± 0,41 24,5 ± 0,47	20,2 ± 0,57 27,5 ± 0,74	22,5 ± 1,18 26,8 ± 0,74	20,5 ± 0,92 24,1 ± 1,51	21,9 ± 0,39 26,0 ± 0,29	22,4 ± 0,27 26,5 ± 0,04	24,4 ± 0,16 25,2 ± 0,10

По нашим данным, коэффициент упитанности сомов всех возрастов достаточно низкий независимо от способа расчета, что связано с высокой степенью прогонистости объекта исследования. Подобные показатели характерны для видов, обладающих длинным, но относительно невысоким телом. Величина этого показателя не выходит за пределы 1,60 по Фультону и 1,21 по Кларк (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Коэффициент упитанности

Продолжительность эксперимента, дн.	По Фультону	По Кларк
1	1,60	1,07
13	1,37	1,07
35	1,57	1,21
50	1,23	1,05
80	0,94	0,81
101	1,27	1,10
159	1,13	1,01
173	1,14	1,01

У африканского сома наблюдается высокая корреляция между массой и показателями телосложения. Об этом свидетельствует коэффициент детерминации, который приближается у всех морфометрических показателей к 1. Величина коэффициента пропорциональности в уравнениях этого типа имеет свои особенности, однако степенной показатель в большинстве случаев достаточно близок к 3. Это свидетельствует об изометричном увеличении значений морфометрических показателей в процессе роста рыб. Наиболее низкое значение коэффициента «b» характерно для высоты тела рыб (табл. 3).

Рост соматических структур происходит с несколько большей интенсивностью, чем увеличение массы рыбы в целом. Судя по данным, интенсивность роста порки и тушки несколько выше, чем головы, которая растет фактически изометрично.

Малая длина тела и большая длина головы растут изометрично ($b = 1,00-1,01$), а высота и обхват африканского сома характеризуются отрицательной аллометрией. Наиболее интенсивный рост отмечен для малой длины головы ($b = 1,10$) (табл. 4). Это свидетельствует о том, что прогонистость рыб с возрастом увеличивается.

Мускулатура африканского сома состоит, как и у большинства видов костистых рыб, из белой и красной составляющих. Общее количество этих двух типов мышц тесно связано с массой тушки, что дает основание судить об относительной массе мышц по выходу этой морфологической структуры: например, коэффициент корреляции между массой мышц и тушки у форели составляет 0,92 [9].

Белая мускулатура сома представлена неправильными угловатыми по форме волокнами, размеры которых увеличиваются по мере роста рыб. Из них в основном и состоит мышечная масса рыб. Красные волокна имеют округлую форму, располагаются непосредственно под кожей и составляют незначительную долю от мышечной

Таблица 3

Взаимосвязь массы рыб с морфологическими показателями рыб
(масса 0,63–447,45 г)

Показатели	Коэффициент пропорциональности «а»	Степенной коэффициент «b»	R ²
<i>Морфометрические (см)</i>			
Длина, L	0,013	2,84 ± 0,121	0,997
Длина, l	0,020	2,83 ± 0,112	0,996
Высота	2,441	3,21 ± 0,127	0,996
Обхват	0,085	3,00 ± 0,063	0,996
Длина тушки	0,052	2,84 ± 0,107	0,996
Длина головы малая	1,501	2,58 ± 0,035	0,996
Длина головы большая	0,671	2,80 ± 0,027	0,996
<i>Соматические (г)</i>			
Порка	0,705	1,04 ± 0,019	0,997
Тушка	0,493	1,05 ± 0,074	0,997
Голова («большая»)	0,212	1,02 ± 0,330	0,996

Таблица 4

Связь длины тела (L) с морфометрическими показателями рыб
(длина 3,9–38,5 см)

Показатели	Коэффициент пропорциональности «а»	Степенной коэффициент «b»	R ²
Малая длина, l	0,871	1,00 ± 0,0001	0,996
Высота	0,211	0,85 ± 0,095	0,982
Обхват	0,542	0,94 ± 0,008	0,990
Длина головы большая	0,248	1,01 ± 0,005	0,992
Длина головы малая	0,161	1,10 ± 0,055	0,996

массы. Поскольку рост рыб определяется белой мускулатурой, в настоящем сообщении приводятся данные по ее гистологической структуре (табл. 5).

Общей возрастной закономерностью является увеличение размеров волокон и уменьшение их плотности. При достижении рыбами конечной массы 447 г диаметр волокон по сравнению с началом опыта увеличивается в 2,9 раза, а их плотность, на-

Таблица 5

Диаметр и плотность волокон белой мышечной ткани

Дни опыта (возрастные группы)	Средний диаметр волокон, мкм	Cv, %	Плотность волокон, шт/мм ²
1 (1)	14,7 ± 0,54	47,9	1684 ± 128,4
13 (2)	21,4 ± 0,62	38,3	1381 ± 115,7
35 (3)	25,4 ± 0,78	43,4	946 ± 26,5
50 (4)	25,5 ± 0,87	47,3	863 ± 54,2
80 (5)	28,0 ± 1,03	52,1	813 ± 75,2
101 (6)	29,7 ± 1,02	48,4	767 ± 10,2
159 (7)	33,4 ± 1,04	43,5	741 ± 113,1
173 (8)	42,0 ± 1,51	50,5	392 ± 16,7

против, уменьшается в 4,2 раза. Величина плотности волокон зависит не только от их диаметра, но и от изменения соотношения тканей в мышцах, что является важным для оценки качества мяса рыб.

Коэффициент вариации диаметра мышечных волокон не является постоянным при увеличении массы рыб и колеблется в пределах 38,3–50,5%. Минимальные значения этого показателя получились для рыб возрастной группы 2 (через 13 дней после начала опыта), а максимальные — в группе 8 (на 173-й день опыта).

Распределение волокон по диаметру показывает, что в возрастных группах с первой по восьмую для мышечной ткани клариевого сома характерно угасание процесса гиперплазии и усиление роста мускулатуры за счет гипертрофии (количество волокон до 20 мкм уменьшается с 74,5 до 18%). Однако угасание гиперплазии происходит не линейно, а волнообразно (рис. 1). Активность ее спадает в третьей воз-

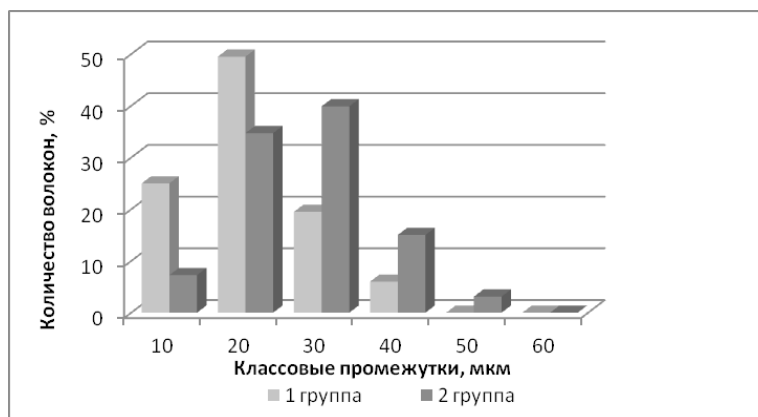


Рис. 1. Распределение волокон белых мышц клариевого сома в группах 1–2 (масса рыб 0,63–3,58 г)

растной группе (рыбы со средней массой 19,1 г), где количество волокон до 20 мкм снижается до 32% (рис. 2).

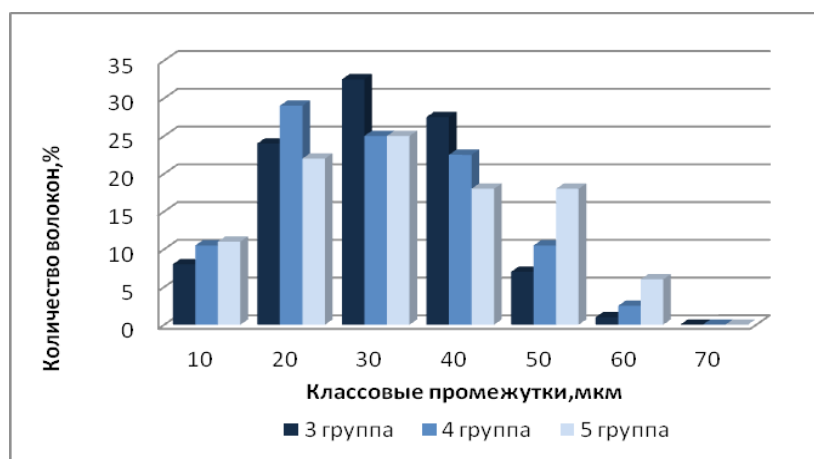


Рис. 2. Распределение волокон белых мышц клариевого сома в группах 3–5 (масса рыб 19,1–90,7 г)

В четвертой возрастной группе наблюдается пик гиперплазии (количество волокон до 20 мкм возрастает до 40%). Далее — в последних двух группах — данный процесс ослабевает (волокон до 20 мкм около 18%), что, по-видимому, связано с началом генеративных процессов — развитием гонад (рис. 3). Особенно это прослеживается по пологой диаграмме в группе девять. Относительное количество волокон с диаметром 60–90 мкм возрастает с 0 до 24%. Таким образом, можно говорить об активации процесса гипертрофии при росте мышц в седьмой и восьмой возрастных группах.

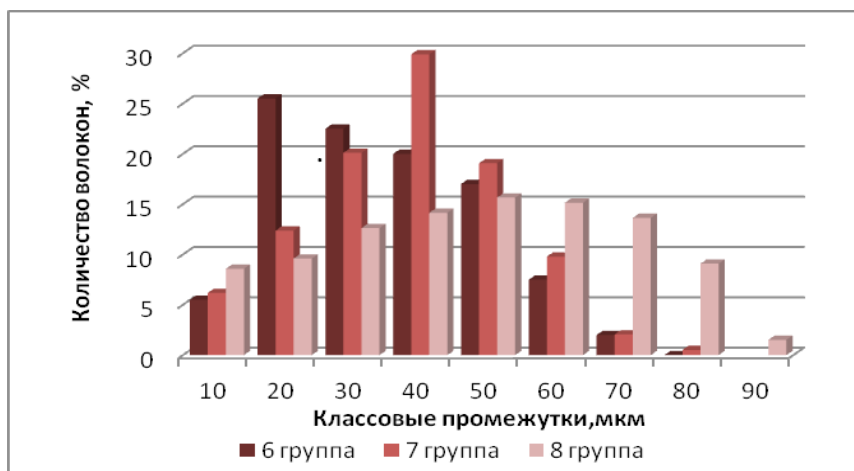


Рис. 3. Распределение волокон белых мышц клариевого сома в группах 6–8 (масса рыб 182,75–447,5 г)

Свыше 60% мышечных волокон молоди клариевого сома приходится на класс-совый промежуток 10–20 мкм. Во 2-й возрастной группе пик распределения диаметров пришелся на 20–30 мкм (более 74%). Далее произошло некоторое укрупнение волокон, и максимальное их количество пришлось на классовый промежуток 30–40 мкм. Это также доказывает усиление роста мышц в этот период за счет гипертрофии мышечного волокна. В 4–6 возрастных группах около половины всех волокон пришлось на промежуток 20–30 мкм, что характерно для роста мышц за счет гиперплазии.

Далее мышцы клариевого сома начали рост в основном за счет гипертрофии, причем можно предположить, что при последующем выращивании сома этот тип роста мышц будет преобладать.

В целом гистологическая структура белых мышц клариевого сома отличается относительно более мелким диаметром волокон по сравнению с другими видами рыб, используемыми в рыбоводстве.

Связь размеров (диаметр) и плотности волокон с массой сомов существенно различается. Это обусловлено тем, что с увеличением размеров волокон плотность их на единицу площади существенно снижается, поэтому рассчитанные аллометрические уравнения имеют следующий вид: для диаметра волокон — $y = 16,38x^{0,131 \pm 0,0057}$ ($R^2 = 0,937$), для плотности волокон — $y = 1663,04x^{-0,176 \pm 0,0187}$ ($R^2 = 0,834$). Взаимосвязь зоологической (полной) длины рыб с диаметром и плотностью мышечных волокон выражается уравнениями: для диаметра — $y = 9,34x^{0,371 \pm 0,0182}$ ($R^2 = 0,937$), для плотности — $y = 3525,91x^{-0,497 \pm 0,0701}$ ($R^2 = 0,833$).

Основную массу белой мускулатуры африканского сома составляет мышечная ткань (58,17–70,96%). Соединительнотканного компонента (перимизий и эндомизий) в мышцах в 2–3 раза меньше. Жировые включения встречаются очень редко, и их количество не превышает 1,5% от площади мышцы. Соотношение тканей, входящих в состав белых мышц, при выращивании рыб с увеличением их массы изменяется. Наименьшее содержание мышечного и, соответственно, наибольшее — соединительнотканного компонентов — отмечено у рыб массой 3,58 г (продолжительность эксперимента — 13 сут.). Разность по этому показателю достоверна между рыбами, достигшими массы 3,58 г, и другими возрастными и массовыми группами сомов (19,07; 49,51; 90,68 и 182,75 г) ($P \leq 0,05$). Пик содержания мышечной ткани наблюдается у рыб при выращивании немногим более 3-х мес. (101 день). В последующем отмечено замещение соединительной тканью, и в какой-то степени — жировой мышечного компонента (табл. 6).

Африканский сом является относительно новым объектом для нашей страны. В настоящее время ведутся интенсивные работы по выращиванию в условиях аквакультуры. Свидетельством этого является появление данного вида как пищевого продукта в отечественной торговой сети.

Товарные качества, и прежде всего мясная продуктивность африканского сома, изучены недостаточно. По данным зарубежных авторов, выход филе у самцов сомов, выращиваемых в искусственных условиях, выше, чем у их диких сородичей (46,7% против 44,2%), а у самок отмечена противоположная картина (44,0 против 38,9%). Последнее обстоятельство связано с более интенсивным развитием гонад у самок при культивировании их в условиях рыбоводных хозяйств [21].

В процессе роста сомов соматические структуры, определяющие их хозяйственно-полезные признаки, такие, как порка и тушка, увеличиваются (на 20–21%). Это характерно и для других видов рыб [7, 10, 14]. Аллометрический рост этих

Соотношение тканей в белых мышцах рыб, % (n = 3–4)

Продолжительность опыта, дн.	Ткань		
	мышечная	соединительная	жировая
1	59,84 ± 3,41	40,16 ± 3,41	—
13	58,17 ± 1,81	41,83 ± 1,81	—
35	69,17 ± 1,16*	30,83 ± 1,16*	—
50	70,28 ± 2,19*	29,72 ± 2,19*	—
80	68,41 ± 2,05	31,59 ± 2,05	—
101	70,96 ± 2,73*	29,04 ± 2,73*	—
159	62,06 ± 4,12	36,60 ± 4,09	1,34 ± 0,26
173	61,90 ± 2,00	37,96 ± 2,10	0,14 ± 0,14

* Разность по сравнению с началом опыта достоверна при $P \leq 0,05$.

частей рыб положительный в связи с тем, что соматические мышцы растут очень интенсивно, особенно в период до полового созревания рыб. Рост белой мускулатуры в различные периоды постнатального онтогенеза определяются процессами как гиперплазии, так и гипертрофии. При этом у двух последних возрастных групп сомов для мышечных волокон характерен рост за счет гипертрофии. Для взаимосвязи диаметра волокон с массой и размером рыб (L) отмечена отрицательная аллометрия, причем степенной коэффициент в первом случае ниже ($0,137 \pm 0,0057$), чем во втором ($0,371 \pm 0,0182$) ($P \leq 0,05$), при высоком коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,937$). Аналогичные данные получены нами для нильской тилпии. Необходимо отметить, что размеры волокон белых мышц африканского сома существенно ниже, чем у ряда других видов рыб приблизительно таких же размеров [9, 14].

Связь плотности волокон на единицу площади с морфометрическими показателями (массой и длиной) имеет отрицательные значения ($-0,176 \pm 0,0187$ и $-0,497 \pm 0,0701$ соответственно), более существенные для размеров рыб, что вполне закономерно. Снижение плотности мышечных волокон происходит благодаря их гипертрофии и в меньшей степени связано с разрастанием эндо- и перимизия, несмотря на то, что в возрасте 50–101 дней содержание соединительнотканного компонента ниже, чем в начале и в конце выращивания рыб. В соединительной ткани появляются жировые включения, но их количество незначительно.

Особенностью африканского сома является невысокая степень развития красной мускулатуры, которая визуальнo занимает незначительную площадь поперечного среза рыбы. Она, помимо порции в области боковой линии, располагается в виде тонкого слоя в дорсальной и вентральной частях тела рыб.

Низкая доля соединительной ткани у рыб из высоких широт нехарактерна для рыб, обитающих в условиях тропиков. У ряда рыб семейства карповых (лещ,

плотва, чехонь и жерех) доля соединительной ткани в белых мышцах в различные периоды годового цикла составляет 4,80–9,64%, а мышечной — 89,80–94,36% [8]. У форели, выращиваемой на теплых водах, содержание соединительной ткани колеблется от 13,41 до 18,22% [3]. У радужной форели, выращиваемой на ф/х «Сходня», мышечная ткань в зависимости от местоположения мышц (на уровне спинного и жирового плавников) занимает 91,6–95,6% [6]. Напротив, у нильской и красной тилапий и их реципрокных гибридов доля мышечной ткани невелика (40,7–44,7%) [11]. Доля мышечного компонента зависит от скорости роста рыб. Наибольшая плотность мышц (59,8 и 63,2%) отмечена у двух- и трехлеток карпа со средней скоростью роста. Гораздо более низкая доля мышечного компонента у медленно растущих рыб (44,8%) и у рыб с очень высокой скоростью роста (49,8%) [13].

Заключение

Полученные данные предполагают возможность успешного выращивания африканского сома в условиях замкнутого цикла водоснабжения. Морфометрические и анатомо-гистологические методы исследования позволяют установить особенности роста и развития как организма рыб в целом, так и отдельных их структур. Прежде всего это касается мышц рыб, определяющих качество и пищевую ценность объектов аквакультуры. Рост основных соматических структур сомов (порки и тушки) характеризуется положительным относительным ростом, и их доля к концу выращивания существенно повышается, что определяется интенсивным наращиванием мускулатуры за счет как гиперплазии, так и гипертрофии.

Более детальные исследования с учетом двух типов мышц позволят не только более полно характеризовать африканских сомов как продукт питания, но и выявить биологические особенности, связанные с их образом жизни.

Библиографический список

1. Автандилов Г.Г. Морфометрия патологии. М.: Медицина, 1973. 248 с.
2. Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре. М.: РГАУ-МСХА, 2011. 664 с.
3. Золотова А.В. Морфофизиологические особенности двух форм радужной форели при выращивании в условиях тепловодного садкового хозяйства: Дисс. ...канд. биол. наук. М., 2009. 148 с.
4. Зотин А.А. Статистическая оценка параметров аллометрических уравнений // Известия АН. Серия биологич. 2000. № 5. С. 517–524.
5. Кублицкас А.К. Методы изучения жировых запасов, мясистости и весовых соотношений частей тела // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов. Вильнюс: Мокслас, 1976. Ч. II. С. 104–109.
6. Лавровский В.В., Панов В.П. Гистологическая структура мышц радужной форели в зависимости от способа кормления // Известия ТСХА. 1982. Вып. 2. С. 163–167.
7. Лавровский В.В., Панов В.П., Есавкин Ю.И. Смирнов В.В. Рыбоводно-биологические показатели двухлеток радужной форели в зависимости от начальной массы годовиков // Известия ТСХА. 1986. Вып. 4. С. 145–150.
8. Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
9. Панов В.П. Морфологические и эколого-физиологические особенности мускулатуры некоторых пресноводных видов рыб: дисс. ...докт. биол. наук, 1997. 335 с.

10. Панов В.П., Мустаев С.Б. Морфобиохимические показатели двухлеток карпа в зависимости от способа кормления и плотности посадки // Известия ТСХА. 1988. Вып. 5. С. 188–193.
11. Парфенов Ф.В. Морфофизиологические особенности красной тилляпии (*Oreochromis* sp.), нильской тилляпии (*O.niloticus*) и их реципрокных гибридов: Автореф. дисс. ...канд. биол. наук, 1998. 16 с.
12. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая пром-сть, 1966. 96 с.
13. Скуфьин К.В. Изучение роста гистосистем и органов зеркального карпа в связи с возрастом и величиной тела // Тр. Воронеж. гос. ун-та, зоол. отдел. 1937. Т. 9. Вып. 2. С. 126–164.
14. Смирнов А.Н. Морфобиохимическая характеристика мускулатуры канального сома (*Ictalurus punctatus* Rap.) в связи с возрастом: дисс. ...канд. биол. наук. М., 1990. 174 с.
15. Фатмалахи Мехрдад. Весовой рост и линейный рост африканского сома (*Clarias gariepinus* Burchell) в зависимости от факторов среды и качества корма: Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. М., 2006. 22 с.
16. Akster H.A., Verreth J.A.J., Spierts I.L.Y., Berbner T., Schmidbauer M., Osse J.M.W. Muscle growth and swimming in larvae of *Clarias gariepinus* (Burchell) // *ICES Mar. Sci. Symp.* 1995. Vol. 201. P. 45–50.
17. Cek S., Yilmaz E. Gonad development and sex ratio of sharptooth catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) cultured under laboratory conditions // *Turk. J. Zool.*, 2007. Vol. 31. P. 35–46.
18. Dienne H.E., Olumuji O.K. Growth performance and haematological responses of African mud catfish *Clarias gariepinus* fed dietary levels of *Moringa oleifera* leaf meal // *Net J. Agr. Sci.* 2014. Vol. 2. P. 79–88.
19. Hecht T., Appelbaum S. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae: Pisces) under controlled conditions // *J. Zool., Lond.*, 1988. Vol. 214. P. 21–44.
20. Henken A.M., Brunink A.M., Richter C.J.J. Difference in growth rate and feed utilization between diploid and triploid African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture* 63. 1987. P. 233–242.
21. Hoffman L.C., Casey N.H., Prinsloo J.F. Carcass yield and fillet chemical composition of wild and farmed African sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* // *Production, environment and quality: Proceedings of the International Conference Bordeaux Aquaculture, '92, Bordeaux. France*, 1993. March 25–27. 1992. EAS Special Publication, 18. P. 421–432.
22. Kaiser H., Weyl O., Hecht T. Observations on agonistic behaviour of *Clarias gariepinus* larvae and juveniles under different densities and feeding frequencies in a controlled environment // *Appl. Ichthyol.*, 1995a. Vol. 11. P. 25–36.
23. Kerdchuen N., Legendre M. Effect favorable des fortes densites pour l'adaptation d'un silure africain *Heterobranchus longifilis* (Pisces: Clariidae), en bacs de petit volume. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 1992. Vol. 25. P. 63–67.
24. Kesena E.J. Differential growth patterns of *Clarias gariepinus*, *Heterobranchus bidorsalis* and Hybrid *Heteroclaris* fed commercially prepared diets // *Agric. Biol. J. N. Am.*, 2010. Vol. 1. P. 658–661.
25. Mostafa A.R., Malcolm C.M., Beveridge, Graham S. Haylor. The effects of density, light and shelter on the growth and survival of African catfish *Clarias gariepinus* Burchell, 1822/ fingerlings // *Aquaculture*, 1998. Vol. 160. P. 251–258.
26. Nukwan S., Tangtrongpiros M., Lawanyawut K., Veerasidith P. Interspecific hybridization between *Clarias macrocephalus* and *Clarias gariepinus* // *Proceedings of the 28th Kasetsart University Conference*, 1990b. 29–31 January, 1990. Kasetsart University, Bangkok. P. 553–567.
27. Tihamiyu L.O., Ataguba G.A., Jimoh J.O. Growth performance of *Clarias gariepinus* fed different levels of *Agama agama* meal diets // *Pakistan J. Nutr.*, 2013. 12. P. 510–515.
28. Wedeking H. Dietary influences on product quality in African catfish (*Clarias gariepinus*) // *J. Appl. Ichthyol.*, 1995. Vol. 11. P. 347–353.

GROWTH AND ANATOMO-HISTOLOGIC CHARACTERISTICS
OF AXIAL MUSCLES OF THE AFRICAN CATFISH
CLARIAS GARIEPINUS (BURCHELL)

A.V. ZOLOTOVA, V.P. PANOV, YU.I. ESAVKIN, E.A. PROSEKOVA

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The questions concerning growth and development of somatic structures of the African catfish in the course of cultivation in system of the closed water supply are considered in the article. The age changes of morphometric indicators were revealed, absolute and relative growth of somatic structures of fish organisms was determined. The histologic structure of white muscles and interrelation of the sizes and density of fibers with the weight and length of a catfish body was studied. Data on fabric structure of muscles and their growth dynamics are provided. The conclusion about the need of further research of African catfish as an object of aquaculture was made.

Key words: African catfish, fish length and mass, histological structure of muscles, ratio of muscle tissue, relative growth, hyperplasia, hypertrophy

Золотова Анастасия Владимировна — к. б. н., доц. кафедры морфологии и ветеринарии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 977-64-53; e-mail: avzolotova@gmail.com)

Панов Валерий Петрович — д. б. н., проф. кафедры морфологии и ветеринарии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 977-14-47; e-mail: panovval@gmail.com).

Есавкин Юрий Иванович — д. с-х. н., доц. кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 976-00-09).

Просекова Елена Александровна — к. б. н., доц. кафедры морфологии и ветеринарии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 977-64-53).

Zolotova Anastasiya Vladimirovna — PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Morphology and Veterinary, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 977-64-53; e-mail: avzolotova@gmail.com).

Panov Valeriy Petrovich — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Morphology and Veterinary, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 977-14-47; e-mail: panovval@gmail.com).

Esavkin Yuriy Ivanovich — Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel.: +7 (499) 976-00-09).

Prosekova Elena Aleksandrovna — PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Morphology and Veterinary, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 977-64-53).

УДК: 639.3: 57.577: 616.21

ФИЗИОЛОГО-ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ КАРПА К КРАСНУХЕ

Г.И. ПРОНИНА², Н.Ю. КОРЯГИНА², А.А. ИВАНОВ¹

(¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;

² ВНИИ ирригационного рыбоводства РАН)

Селекция на иммунную устойчивость — одна из возможностей повышения эффективности производства продуктов животного происхождения, включая выращивание рыбы. Из имеющихся пород карпа только одна — ангелинская — прошла длительную селекцию на устойчивость к опасному заболеванию рыб краснухе. Цель настоящей работы заключалась в выявлении физиологических особенностей молоди этой породы, селекционируемой по продуктивному росту, гематологическим, цитохимическим и биохимическим показателям гомеостаза.

Установлено, что краснухоустойчивые карпы характеризуются высоким уровнем белкового и энергетического обмена, невысоким содержанием катионного лизосомального белка нейтрофилов и высоким обеспечением кислородзависимыми факторами иммунитета, выявляемыми в спонтанном НСТ-тесте.

Ключевые слова: селекция, карп, иммунная устойчивость, краснуха, гематологические, цитохимические, биохимические показатели.

Известно, что интенсивное выращивание и селекция животных по продуктивным признакам приводят к ослаблению иммунитета. Особенно остро встает вопрос повышения иммунитета рыб в условиях рыбоводных хозяйств в связи с технологическими нагрузками (в частности, увеличением плотности посадки, применением техники), загрязнением водоемов разного рода токсикантами [2]. Метаболизм рыб как пойкилотермных животных находится в зависимости от температуры среды обитания. Кроме того, гидробионты по сравнению с наземными животными демонстрируют большую чувствительность к возбудителям инфекционных и инвазионных болезней. Поэтому повышение общей и специфической резистентности объектов аквакультуры является актуальной задачей.

Одним из доступных методов повышения общей и специфической резистентности является селекция объектов разведения на иммунную устойчивость. Краснуха карпа является опасным заболеванием, наносящим большой ущерб рыбоводным хозяйствам (рис. 1). К сожалению, среди пород карпа только Ангелинская получена путем длительной селекции на иммунную устойчивость к краснухе на провокационном фоне [4].

Этиология краснуха остается невыясненной. Возбудитель болезни до настоящего времени не идентифицирован. Одни исследователи считают, что краснуху вызывает *Aeromonas punctata* — банальная водная бактерия, встречающаяся в грунте

и воде прудов и других водоемов. Ее выделяют с поверхности кожи, из крови, кишечника, печени здоровых и больных краснухой рыб. Однако у больных рыб бактерию находят непостоянно, что ставит под сомнение бактериальную природу краснухи.

В то же время многие исследования отечественных и зарубежных ученых свидетельствуют о вирусной этиологии заболевания. В клетках головного мозга больных краснухой рыб обнаруживали эозинофильные включения, в тканевой жидкости — элементарные вирусные тельца размером 100–200 мкм. В последние годы был получен цитопатогенный эффект при действии фильтрата из тканей больных рыб на культуру тканей почки, сердца и плавников здоровых рыб. При введении этого фильтрата в организм здоровых рыб у последних развивались типичные признаки краснухи. При этом ученые не отрицают и возможную роль бактерий как секундарной инфекции в этиологии краснухи. Лечение заболевания малоэффективно, поэтому большое практическое значение имеет селекционная работа по созданию популяций рыб, обладающих иммунной резистентностью к краснухе.

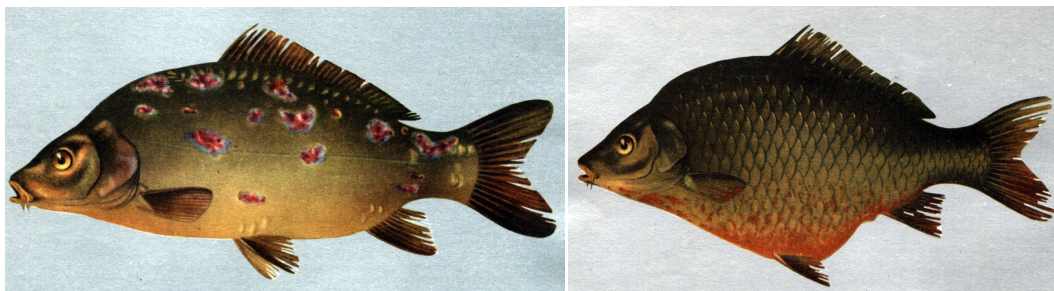


Рис. 1. Клинические признаки краснухи карпа

Цель настоящей работы: сравнительный анализ физиологических, биохимических и иммунологических показателей различных пород карпа, отличающихся разным уровнем устойчивости к инфекционным заболеваниям, включая краснуху.

Материал и методы исследований

Работа проводилась в лабораториях кафедры физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ВНИИ ирригационного рыбоводства РАН, рыбоводных хозяйствах Волгоградской области (рыбхоз «Флора») и Чувашии (рыбхоз «Кирия») в период с 2011 по 2014 гг. В рыбхозе «Кирия» в настоящее время имеется ремонтное стадо ангелинского краснухоустойчивого чешуйчатого и зеркального карпа. Эти рыбы были завезены в хозяйство из рыбхоза «Ангелинский» Краснодарского края на стадии личинки. Таким образом, у авторов в условиях рыбоводного хозяйства появилась возможность вести работу по повышению специфического иммунитета с данной категорией рыб.

Оба рыбхоза благополучны по инфекционным заболеваниям, о чем свидетельствуют ежегодные акты ветеринарно-санитарной проверки, а также исследования Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору.

Объектами исследования были годовики и двухлетки карпа южного зонального типа чувашской чешуйчатой породы, волжской рамчатой породы и ангелинской

породы (чешуйчатая и зеркальная группы). В соответствии с породной принадлежностью были сформированы 4 опытные группы молоди карпа.

Кровь для анализа получали *in vivo* методом пункции хвостовой вены с соблюдением правил асептики и антисептики.

Уровень иммунной защиты рыб определяли с помощью общепринятых методов: оценки клинического состояния, анализа клеточного состава крови, включая иммунокомпетентные клетки. Физиолого-иммунологическая оценка рыб формировалась на основе результатов гематологических, цитологических, иммунологических и биохимических анализов. Лейкоцитарная формула формировалась методом дифференциального подсчета лейкоцитов в окрашенных по Паппенгейму мазках периферической крови. Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе Chem Well Awareness Technology с использованием реактивов VITAL.

Дополнительно к традиционным методам авторами использовались специфические (цитохимические) методы оценки иммунологической защиты по состоянию кислороднезависимых (КНЗ) и кислородзависимых (КЗ) факторов бактерицидности [3].

К КНЗ-системе биоцидности нейтрофилов в первую очередь относят группу специфических катионных белков лизосом фагоцитов под общим названием *дефенсины*. Защитный эффект дефенсинов проявляется в нескольких направлениях. Они могут повреждать мембраны патогенных микробов (например, таким эффектом обладает катепсин G) или расщеплять гликопротеиды клеточной стенки бактерий (как в случае с лизоцимом). Белок лактоферрин обладает особым свойством: он лишает бактерии железа, которое необходимо для их пролиферации. Кроме того, дефенсины способны лизировать нежизнеспособные микробные тела, чем предупреждают последствия возможной интоксикации [1].

Роль катионных белков в противомикробной защите подтверждается тем, что даже в анаэробных условиях, т.е. когда в клетках нет возможности образовать активные формы кислорода, нейтрофилы элиминируют эпидермальный стафилококк, синегнойную палочку, зеленающий стрептококк и другие патогены. Показано, что дефенсины обладают универсальной антимикробной активностью, свойствами медиаторов воспаления. Они повышают проницаемость стенки кровеносного сосуда, выступают в роли стимулятора фагоцитоза, модификатора дыхательных и ферментативных процессов в клетке. Высказано предположение о трех взаимосвязанных механизмах внеклеточного антимикробного действия лизосомных катионных белков нейтрофильных гранулоцитов в очагах воспаления:

- 1) *прямое антимикробное действие;*
- 2) *подготовка бактерий к фагоцитозу;*
- 3) *стимуляция фагоцитарной и антимикробной активности макрофагов при их контакте с катионными белками.*

В патогенезе ряда болезней отмечают изменение (как правило, увеличение) активности лизосомальных катионных белков макрофагов, особенно в разгар инфекционных заболеваний бактериальной и вирусной этиологии [11, 12].

Неферментные катионные белки в лизосомах нейтрофилов идентифицировали методом М.Г. Шубича с бромфеноловым синим после авторской модификации [10].

По степени фагоцитарной активности исследуемые клетки делились на 4 группы (рис. 2):

- 0 степень — гранулы катионного белка отсутствуют,
- 1 степень — в поле зрения единичные гранулы,
- 2 степень — гранулы занимают примерно 1/3 цитоплазмы фагоцита,
- 3 степень — гранулы занимают 1/2 цитоплазмы фагоцита и более.

Средний цитохимический коэффициент (L. Karlow, 1955) рассчитывали по формуле:

$$\text{СЦК} = (0 \times H_0 + 1 \times H_1 + 2 \times H_2 + 3 \times H_3)/100,$$

где H_0 , H_1 , H_2 , H_3 — количество нейтрофилов с 0, 1, 2 и 3 степенью активности соответственно.

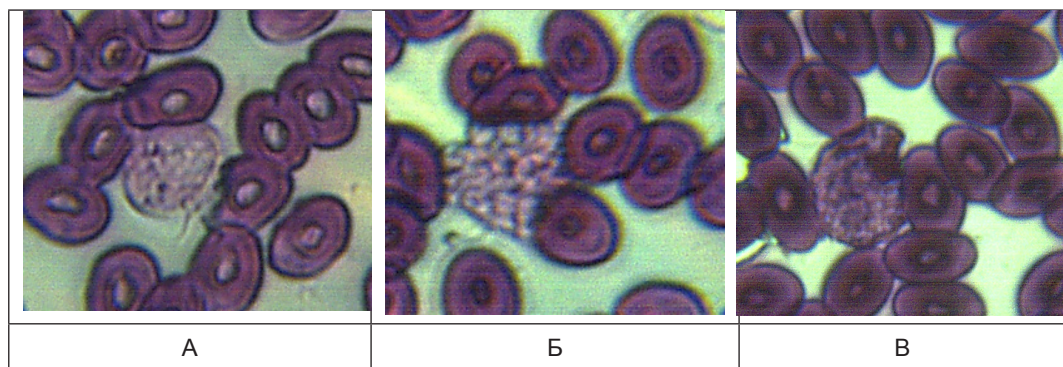


Рис. 2. Нейтрофилы крови карпа с гранулами лизосомального катионного белка в окружении ядерных эритроцитов: А — первая степень; Б — вторая степень; В — третья степень активности нейтрофила (увеличение 10 × 40)

Процесс фагоцитоза сопровождается образованием активных форм кислорода и инициацией перекисного окисления липидов (КЗ механизм), поэтому идентификация активных радикалов кислорода является важным звеном в оценке функциональной активности фагоцитов. Ключевым считается супероксидный анион кислорода, с которого берет начало каскад реактивных производных кислорода [9]. Процесс сопровождается резким усилением энергетического обмена и скачком потребления кислорода. Внезапную и быструю метаболическую активизацию нейтрофила принято называть респираторным взрывом.

Радикальное изменение метаболического профиля нейтрофила обуславливается резким увеличением расхода глюкозы в реакциях гексозомонофосфатного шунтирования. При активации нейтрофил способен окислить до 30% глюкозы. Скачок в потреблении кислорода сопровождается образованием радикалов с мощным энергетическим потенциалом. Генерация активных форм кислорода и взаимодействие специализированных клеток с субстратом — взаимосвязанные звенья цепи фагоцитоза [14].

Существуют доступные лабораторные методы оценки респираторного взрыва. В частности, интенсивность одного из звеньев фагоцитоза — продукцию активных форм кислорода — можно оценить в НСТ-тесте по способности фагоцитов *in vitro* восстанавливать нитросиний тетразолий [8, 13]. НСТ-тест позволяет оценить лизи-

рующую способность нейтрофилов и определить долю клеток, способных формировать внутри себя фагосому. По техническому исполнению НСТ-тест — типичный гистохимический прием, но в отличие от большинства цитохимических реакций здесь исследуют живые клетки, которые фиксируют лишь после инкубации с гистохимическим индикатором респираторного взрыва — нитросиним тетразолием. Это может быть сделано без дополнительной стимуляции (спонтанный НСТ-тест) или при стимуляции нейтрофилов *in vitro* (индуцированный НСТ-тест) [6].

По количеству отложившегося в клетках диформаза оценивали их активность в условных единицах и рассчитывали ИАН — индекс активации нейтрофилов по формуле среднего цитохимического коэффициента. Оценка фагоцитарной активности нейтрофилов проводилась по результатам спонтанного НСТ-теста. При этом выделяли индекс активации нейтрофилов спонтанный (ИАН) и ИАН индуцированный (при стимуляции нейтрофилов зимозаном).

Активные формы кислорода в спонтанном и индуцированном НСТ-тесте с нитросиним тетразолием оценивали в соответствии со следующим алгоритмом.

Определялись показатели динамики активации нейтрофилов (ДАН) и функциональный резерв нейтрофилов (ФРН):

ДАН=ИАН индуцированный : ИАН спонтанный.

ФРН=(ИАН индуцированный – ИАН спонтанный) × 100%.

Статистическая обработка результатов осуществлялась методом вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента.

Результаты исследований и их обсуждение

В таблице 1 представлены результаты измерения рыбы, клеточный состав и значения цитохимических показателей первого года жизни.

Для всех групп характерен лимфоцитарный профиль: преобладающим классом лейкоцитов в крови рыб являются лимфоциты, доля которых составляет 79–89% от общего количества белых клеток крови. Как следует из таблицы, у годовиков ангелинских карпов в лейкоцитарной формуле меньше нормобластов и базофильных эритроцитов от общего количества эритроцитов в составе крови. При этом сумма зрелых и полихроматофильных эритроцитов у ангелинских карпов выше и составила 89%. Это позволяет считать, что у годовиков ангелинской породы дифференциация красных клеток в процессе гемопоэза протекает активнее, чем у рыб из южных регионов. Доля бластных форм эритроцитов у них достаточно высока. Очевидно, весенняя активация эритропоэза молоди ангелинских карпов происходит несколько позже, чем у рыб других пород. Осенью (у двухлетков) эритропоэз тормозится, что прослеживается по снижению эритробластов в крови (табл. 2). Содержание нормобластов у двухлетков всех групп было примерно на одном уровне.

Нейтрофилов в крови годовиков ангелинских карпов было несколько меньше, чем у карпа волгоградских пород; у зеркальной группы различия достоверны. У двухлетков по данному показателю достоверные различия между группами не отмечены.

В крови годовиков зеркальной группы ангелинских карпов присутствует небольшое количество базофилов — вероятно, в качестве защитного механизма. Интересно, что осенью (у двухлетков) базофилы появляются в лейкограмме всех изучаемых групп рыб, а у двухлетков южного зонального типа в крови имеются эозинофилы.

Т а б л и ц а 1

**Размерно-весовые, гематологические
и цитохимические показатели годовиков карпа**

Показатели	Южный зональный тип (чешуйчатый)	Ангелинская чешуйчатая	Волжская рамчатая	Ангелинская зеркальная
	а	б	в	г
Масса, г	13,4 ± 9	10,6 ± 7 ^а	16,9 ± 9 ^{аб}	10,7 ± 6 ^а
Длина тела, см	17,0 ± 0,3	16,1 ± 0,2 ^а	18,0 ± 0,3 ^{аб}	17,0 ± 0,4
<i>Активность эритропоэза, %</i>				
Гемоцитобласты, эритробласты	0,8 ± 0,5	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,6	1,0 ± 0,4
Нормобласты	3,6 ± 0,9	2,6 ± 0,3	4,4 ± 0,7 ^б	2,6 ± 0,3 ^в
Базофильные эритроциты	7,8 ± 2,6	6,8 ± 1,2	16,6 ± 4,0 ^б	7,2 ± 0,9 ^в
Сумма зрелых и полихромато- фильных эритроцитов	87,8 ± 3,9	89,4 ± 1,6	77,8 ± 4,8 ^б	89,2 ± 1,1 ^а
<i>Лейкоцитарная формула, %</i>				
Промиелоциты	—	—	—	0,2 ± 0,2
Миелоциты	0,8 ± 0,6	0,4 ± 0,5	—	0,4 ± 0,4
Метамиелоциты	2,2 ± 0,7	2,2 ± 2,0	1,4 ± 0,7	3,2 ± 1,3
Палочкоядерные нейтрофилы	2,4 ± 1,7	2,0 ± 1,4	3,8 ± 1,8	0,6 ± 0,5
Сегментоядерные	4,8 ± 1,1	4,0 ± 2,0	7,4 ± 0,9	5,2 ± 1,4
Всего нейтрофилов	7,2 ± 1,0	6,0 ± 2,1	11,2 ± 1,6	5,8 ± 1,4 ^а
Эозинофилы	—	—	—	—
Базофилы	—	—	—	0,2 ± 0,2
Моноциты	2,6 ± 0,8	5,8 ± 0,4 ^а	1,8 ± 1,2 ^б	3,2 ± 0,7 ^б
Лимфоциты	87,2 ± 2,7	85,6 ± 1,6	85,6 ± 2,6	87,0 ± 2,9
<i>Фагоцитарная активность</i>				
СЦК, ед.	1,77 ± 0,09	1,44 ± 0,08 ^а	1,85 ± 0,03 ^б	1,73 ± 0,16
ИАН спонтанный, ед.	0,15 ± 0,03	0,27 ± 0,04 ^а	0,12 ± 0,02 ^б	0,22 ± 0,05
% активности при спонтанном НСТ	8,6 ± 1,0	13,6 ± 2,8	7,2 ± 0,8 ^б	11,5 ± 1,1 ^а
ИАН индуцированный, ед.	0,26 ± 0,04	0,48 ± 0,07 ^а	0,29 ± 0,02 ^б	0,28 ± 0,06
% активности при индуциро- ванном НСТ	13,0 ± 1,3	22,2 ± 2,2 ^а	14,6 ± 1,4 ^б	15,5 ± 3,1
ДАН, ед.	1,8 ± 0,2	1,9 ± 0,3	2,4 ± 0,3	1,3 ± 0,1 ^{аб}
ФРН, %	11,0 ± 2,9	21,0 ± 5,3	16,8 ± 2,0	6,3 ± 2,7 ^{бв}

Примечание. Здесь и далее а, б, в, г — различия достоверны между соответствующими группами (n = 10).

Относительное количество моноцитов в крови молоди ангелинских карпов весной увеличивается, а осенью снижается (в сравнении с волгоградскими породами). Моноциты крови являются предшественниками тканевых макрофагов. Они обладают фагоцитозом по отношению к патогенам и поврежденным клеткам собственного организма. Поэтому их присутствие в крови можно рассматривать как адаптацию, направленную на элиминацию поврежденных в процессе зимнего голодания адипоцитов, гепатоцитов, миоцитов и других клеток, участвующих в обеспечении субстратами биохимических реакций энергетического и пластического обмена.

Результаты цитохимических исследований показали, что СЦК цитотоксичного лизосомального катионного белка нейтрофилов крови ангелинских карпов несколько меньше, чем СЦК у других рыб. Подтвердилась и отмеченная нами ранее закономерность: у зеркальных карпов показатель СЦК выше, чем СЦК нейтрофилов чешуйчатых карпов.

Однозначную оценку этому явлению пока дать нельзя. В научной литературе этот вопрос отражен недостаточно глубоко, публикации единичны. Катионные неферментные белки представляют собой вещества, задающие бактерицидную активность неферментного свойства микрофагоцитам крови. Поэтому межпородные различия в содержании неферментных катионных белков в лизосомах нейтрофилов могут быть отражением генетических различий, а могут отражать и иммунологическую напряженность. Во всяком случае исследования катионных белков нейтрофилов рыб следует продолжить для прояснения ситуации.

Исследования показали, что активность нейтрофилов при спонтанном НСТ-тесте у ангелинских карпов выше, чем у других одновозрастных рыб. ИАН индуцированный и процент активности нейтрофилов при этом у годовиков ангелинских чешуйчатых карпов были выше, чем у остальных опытных рыб той же возрастной категории. У годовиков зеркальной группы ангелинских карпов были самые низкие показатели ДАН и ФРН.

Для молоди ангелинских карпов характерна высокая активность АСТ (табл. 3, 4). У годовиков чешуйчатой группы ангелинской породы отмечена низкая активность креатинкиназы, возможно, связана с постоянной высокой физической нагрузкой при поиске пищи, т.е. более высокой «тренированностью» и толерантностью к физическим нагрузкам. Креатинкиназа катализирует обратимую реакцию фосфорилирования креатина с образованием креатинфосфата, который является резервным макроэргическим соединением [5]. Содержание креатинина в крови двухлеток ангелинских карпов было ниже по сравнению с рыбами других опытных групп.

Чешуйчатые и зеркальные карпы отличаются по двигательной активности: чешуйчатый карп относится к «нагульному» типу, а зеркальный — к «откормочному» [7]. После нагула при подготовке к зимовке активность карпа снижается. Весной высокое содержание лактата при относительно большом уровне глюкозы в сыворотке крови ангелинских свидетельствует о том, что в конце зимовки в метаболизме этой группы рыб велика доля анаэробных процессов, либо складывается ситуация, в которой развивается дефицит лактатдегидрогеназы.

Представители ангелинской породы выделялись рядом интерьерных показателей включая активность клеточных ферментов. Так, после зимовки у карпа ангелинской породы активность щелочной фосфатазы была достоверно ниже и составляла 12–15 ед/л против 43–82 ед/л у рыб из пятой рыбоводной зоны. В то же время активность АСТ у годовиков и двухлеток была существенно выше, чем у рыб других групп: 200–400 ед/л против 70–130 ед/л. Различия между группами достоверны при

Таблица 2

**Размерно-весовые, гематологические и цитохимические показатели
двухлетков карпа**

Показатели	Южный зональный тип (чешуйчатый)	Ангелинская чешуйчатая	Волжская рамчатая	Ангелинская зеркальная
	а	б	в	г
Масса, кг	1,67 ± 0,03	0,65 ± 0,03 ^а	1,55 ± 0,02 ^{аб}	0,68 ± 0,03 ^{ав}
Длина тела, см	40,3 ± 0,2	30,6 ± 0,5 ^а	39,0 ± 0,3 ^{аб}	31,3 ± 0,4 ^{ав}
<i>Активность эритропоэза, %</i>				
Гемоцитобласты, эритробла- сты	1,1 ± 0,2	0,4 ± 0,2 ^а	0,6 ± 0,2	0,3 ± 0,2 ^а
Нормобласты	3,7 ± 0,5	3,1 ± 0,6	3,9 ± 0,5	4,3 ± 0,7
Базофильные эритроциты	10,6 ± 1,2	8,0 ± 1,1	8,9 ± 1,2	8,5 ± 1,4
Сумма зрелых и полихромато- фильных эритроцитов	84,6 ± 1,6	88,5 ± 1,7	86,6 ± 1,3	86,9 ± 2,1
<i>Лейкоцитарная формула, %</i>				
Промиелоциты	—	—	—	—
Миелоциты	0,3 ± 0,2	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,2
Метамиелоциты	1,7 ± 0,4	2,6 ± 0,2	2,0 ± 0,4	2,5 ± 0,5
Палочкоядерные нейтрофилы	3,0 ± 0,7	1,7 ± 0,7	1,6 ± 0,3	2,2 ± 0,6
Сегментоядерные	2,5 ± 0,7	2,7 ± 0,6	3,0 ± 0,6	2,4 ± 0,7
Всего нейтрофилов	5,5 ± 0,7	4,4 ± 0,7	4,6 ± 0,6	4,6 ± 0,6
Эозинофилы	0,1 ± 0,1	—	—	—
Базофилы	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,1 ± 0,1
Моноциты	3,4 ± 0,5	2,2 ± 0,4	3,9 ± 0,4 ^б	3,0 ± 0,4
Лимфоциты	88,7 ± 0,8	90,2 ± 0,8	88,8 ± 1,1	89,4 ± 0,9
<i>Фагоцитарная активность</i>				
СЦК, ед.	1,89 ± 0,08	1,83 ± 0,06	2,12 ± 0,06 ^{аб}	1,83 ± 0,07 ^в
ИАН спонтанный, ед.	0,20 ± 0,03	0,19 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,23 ± 0,03 ^в
% активности	8,6 ± 1,3	9,0 ± 0,8	6,6 ± 0,4 ^б	11,0 ± 0,7 ^в
ИАН индуцированный, ед.	0,37 ± 0,02	0,30 ± 0,02 ^а	0,25 ± 0,03 ^а	0,33 ± 0,06
% активности	16,4 ± 0,6	13,0 ± 0,7 ^а	11,6 ± 1,4 ^а	15,0 ± 2,5
ДАН, ед.	2,08 ± 0,40	1,50 ± 0,08	1,63 ± 0,14	1,40 ± 0,13
Функциональный резерв ней- трофилов, %	17,4 ± 4,1	10,4 ± 1,4	10,0 ± 2,5	10,5 ± 3,6

Биохимические показатели годовиков карпа

Показатели	Южный зональный тип (чешуйчатый)	Ангелинские чешуйчатые	Волжская рамчатая	Ангелинская зеркальная
	а	б	в	г
АЛТ, ед/л	46,9 ± 8,0	51,9 ± 2,6	39,6 ± 7,1	46,9 ± 8,0
АСТ, ед/л	77 ± 48	414 ± 56 ^а	97 ± 19 ^б	380 ± 31 ^{ав}
Глюкоза, ммоль/л	7,1 ± 0,8	6,7 ± 2,3	3,8 ± 0,3 ^а	8,5 ± 1,3 ^а
КК, ед/л	1529 ± 289	505,0 ± 262 ^а	1391 ± 181 ^б	1940 ± 121 ^б
Лактатат, мг/дл	53,6 ± 24,3	82,9 ± 5,2	42,9 ± 0,5 ^б	65,6 ± 6,3 ^{бв}
Мочевая кислота, мкмоль/л	208 ± 77	107 ± 42	232 ± 89	274 ± 66
ЩФ, ед/л	82,0 ± 3,2	12,0 ± 3,8 ^а	43,0 ± 2,6 ^{аб}	15,3 ± 3,8 ^{ав}
Альбумин, г/дл	10,2 ± 1,7	10,8 ± 1,6	14,0 ± 0,8	10,2 ± 0,5 ^в
Мочевина, мг/дл	11,1 ± 3,8	18,7 ± 2,3	15,1 ± 8,5	15,9 ± 3,0
Общий белок, г/л	23,3 ± 3,8	25,0 ± 3,0	25,5 ± 1,8	23,9 ± 0,1
Триглицериды, мг/дл	235 ± 78	216 ± 66	170 ± 19	127 ± 11
Холестерин, мг/дл	129 ± 25	168 ± 23	129 ± 5	144 ± 1 ^а

высоком доверительном коэффициенте от 3,1 до 21,6. Данное свойство метаболизма ангелинских карпов, характеризующее интенсивный белковый обмен, было отмечено нами и ранее для других возрастных категорий рыб. Кроме того, замечено, что рыба, отловленная в осенний период, имела более низкие показатели активности АЛТ и АСТ. Уровень активности гаммаглутамилтрансферазы (ГГТ) у двухлеток был невысоким, что характерно для молодых особей в целом. Более высокий уровень ферментов переаминирования у рыб после зимовки закономерен и связан с интенсивными деструктивными процессами в печени в конце зимовки.

Активность щелочной фосфатазы отражает активность процессов оксификации, и пониженная активность этого фермента у представителей ангелинской породы коррелирует с фактом менее интенсивного развития скелета рыб. Ферменты переаминирования — АСТ и АЛТ — отражают функциональное состояние гепатоцитов. Поэтому разный уровень активности АСТ свидетельствует о действительно большом удалении генотипов представителей разных групп и обоснованности выделения карпа ангелинской субпопуляции в самостоятельную породу.

Обнаружено, что при высоком доверительном коэффициенте ($t = 3,5-10,8$) в крови двухлеток ангелинских карпов концентрация триглицеридов была достоверно ниже, а холестерина — выше по сравнению с годовиками той же породы.

Поскольку энергетический обмен зимующих (следовательно, голодающих) рыб реализуется за счет жировых запасов, образование макроэргических соедине-

Т а б л и ц а 4

Биохимические показатели двухлеток карпа

Показатели	Южный зональный тип (чешуйчатый)	Ангелинские чешуйчатые	Волжская рамчатая	Ангелинская зеркальная
	а	б	в	г
ГГТ, ед/л	10,3 ± 1,3	9,7 ± 1,1	11,3 ± 1,6	7,4 ± 2,3
АЛТ, ед/л	33,2 ± 5,3	21,9 ± 2,3	25,9 ± 2,2	45,7 ± 12,7
АСТ, ед/л	98 ± 17	195 ± 20 ^а	132 ± 2,9 ^б	250 ± 4,6 ^{абв}
Глюкоза, ммоль/л	5,8 ± 0,8	5,8 ± 1,3	4,1 ± 0,4	4,9 ± 0,6
КК, ед/л	2398 ± 391	4945 ± 116 ^а	2822 ± 456 ^б	2471 ± 320 ^б
Креатинин, мкмоль/л	6,1 ± 3,0	3,9 ± 1,4	9,0 ± 1,5 ^б	1,0 ± 0,6 ^а
Лактатат, мг/дл	42,0 ± 12,9	51,8 ± 21,4	51,1 ± 9,8	49,1 ± 19,5
Мочевая кислота, мкмоль/л	244 ± 17	345 ± 77	227 ± 19	280 ± 57
ЩФ, ед/л	55,4 ± 7,2	16,6 ± 5,6 ^а	89,6 ± 9,5 ^{аб}	21,5 ± 4,1 ^{ав}
Альбумин, г/дл	9,3 ± 0,4	9,4 ± 0,4	9,8 ± 0,3	10,5 ± 0,6
Амилаза, ед/л	25,3 ± 4,2	34,9 ± 9,3	13,4 ± 3,5	12,6 ± 2,6 ^{ав}
Мочевина, мг/дл	4,8 ± 1,2	7,1 ± 1,9	6,9 ± 0,9	7,1 ± 1,1
Общий белок, г/л	20,3 ± 0,8	20,4 ± 0,6	20,7 ± 0,3	21,0 ± 0,4
Панкреатическая амилаза, ед/л	25,1 ± 3,9	31,5 ± 7,2	15,4 ± 3,8	10,1 ± 2,2 ^а
Триглицериды, мг/дл	145 ± 13	62 ± 7,2 ^а	131 ± 11 ^б	79 ± 4,5 ^{ав}
Холестерин, мг/дл	94 ± 7	142 ± 7 ^а	68 ± 2 ^{аб}	166 ± 8 ^{абв}

ний идет за счет жирных кислот, то сложившаяся ситуация может свидетельствовать о более напряженном энергетическом обмене рыб во второй рыбоводной зоне с более продолжительным зимним периодом.

Заключение

Молодь ангелинских карпов, устойчивых к краснухе, выделяется рядом метаболических и иммунологических особенностей. Наибольшие межпородные различия отмечены у годовиков в сравнении с двухлетками: у них позже происходит весенняя активация эритропоэза, в лейкоцитарной формуле у годовиков меньше ней-

трофилов и больше моноцитов. У ангелинских карпов выявлен более высокий уровень белкового обмена, активность АСТ. Для молоди ангелинских карпов характерны невысокие значения СЦК катионного лизосомального белка нейтрофилов и высокий уровень кислородзависимых факторов, выявляемых в спонтанном НСТ-тесте. Ангелинских карпов отличает более высокий уровень холестерина и более низкий уровень триглицеридов в крови как в конце зимовки, так и в конце вегетационного периода.

Метаболические и иммунологические особенности ангелинских краснухоустойчивых карпов могут быть использованы в качестве маркеров в селекционно-племенной работе для создания популяций карпа с повышенной специфической иммунологической устойчивостью.

Библиографический список

1. Белоцкий С.М., Авталион Р.Р. Воспаление. Мобилизация клеток и клинические эффекты. М.: БИНОМ, 2008. 240 с.
2. Иванов А.А. Физиология рыб. СПб.: Лань, 2011. 288 с.
3. Иванов А.А., Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Клиническая лабораторная диагностика в аквакультуре. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2013. 50 с.
4. Илясов Ю.И. Селекция рыб на повышение устойчивости к заболеваниям // Сб. науч. тр. «Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры». Вып. 78. М.: Изд-во ВНИРО, 2002. С. 125–134.
5. Камышников В.С. Норма в лабораторной медицине. М.: «МЕДпресс-информ», 2014. 336 с.
6. Кондратьева И.А., Самуилов В.Д. Практикум по иммунологии: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2001. 224 с.
7. Маслова Н.И., Серветник Г.Е. Биологические основы товарного рыбоводства. М.: Издательство РАСХН, 2003. 199 с.
8. Маянский А.Н., Маянский Н.А., Заславская М.И., Позднеев Н.М., Плескова С.Н. Апоптоз нейтрофилов // Иммунология. 1999. № 6. С. 11–20.
9. Мейер Д., Харви Д. Ветеринарная лабораторная медицина. Интерпретация и диагностика. М.: «Софион», 2007. 456 с.
10. Пронина Г.И. Использование цитохимических методов для определения фагоцитарной активности клеток крови или гемолимфы разных видов гидробионтов для оценки состояния их здоровья // Известия ОГАУ. № 4. Оренбург, 2008. С. 160–163.
11. Сааева Н.М. Состояние миелопероксидазы и содержания катионного белка у больных острым и хроническим бруцеллезом // В кн.: Актуальные вопросы инфекционной патологии. Нальчик, 2000. С. 49–51.
12. Юанов А.А. Содержание катионного белка лейкоцитов у больных острым и с обострением хронического панкреатита // Успехи современного естествознания. 2003. № 10. С. 109.
13. Cuzytek A., Hrycek A., Stasiura H., Stadnicki A. Peripheral blood neutrophils in patients with internal endometriosis in light of enzymatic tests // Wiad. Lek. 1997. № 50 (4–6). P. 75–80.
14. Kuriyama T., Oishi K., Kakazu H., Machida K. Changes of physiological functions in rats induced by immobilization stress // Nippon Eiseigaku Zasshi. 1998. №52 (4). P. 647–653.

PHYSIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL ADAPTATIONS OF CARP TO RED SPOT DISEASE

G.I. PRONINA², N.YU. KORYAGINA², A.A. IVANOV¹

(¹ Russian Timiryazev State Agrarian University;

² State Research Institute of Irrigation Fish Breeding)

Selection of immune resistant species is one of the means to increase the effectiveness of animal production including the aquaculture objects. Among the available carp breeds the only one –Angelinskaya (scaly and mirror group) — had passed long selection on resistance to such a dangerous disease of fish as red spot on a provocative background. The purpose of this work was to find out physiological and immune peculiarities in red spot resistant carp yearlings on the basis of growth rate, blood composition, biochemical and immunological qualities. Blood samples were obtained through in vivo tail vein puncture. The general assessment of fish was carried out with the help of hematological, cytochemical and biochemical analyses. The leukocyte blood formula was calculated on the grounds of differential visualization on the blood dabs painted with Pappengeym procedure. Phagocyte activity was evaluated by cytochemical methods. Oxygen independent factor activity was calculated through nonenzymatic cation protein in lysosome of neutrophils. Oxygen dependent factor activity was measured in the spontaneous and induced NST-test with nitroblue tetrazolium. Biochemical analyses were run on the Chem Well Awareness Technology analyzer with VITAL kits. It was established that yearling resistance to red spot disease in spring time was followed by high level of protein and energy metabolism. Angelinskay breed carp showed low content of cation lysosome protein in neutrophils (oxygen independent mechanisms of a phagocytosis) and high level of oxygen dependent factors was revealed in the spontaneous NST-test.

Key words: selection, carp, immune resistance, red spot disease of carp, hematology, cytochemical and biochemical indicators.

Пронина Галина Иозеповна — д. б. н., вед. науч. сотр. ФГБНУ ВНИИ ирригационного рыбоводства РАН (142460, Московская обл., пос. Воровского, ул. Сергеева, 24; e-mail: gidrobiont4@yandex.ru).

Корягина Наталья Юрьевна — к. б. н., ст. науч. сотр. ФГБНУ ВНИИ ирригационного рыбоводства РАН (142460, Московская область, пос. Воровского, ул. Сергеева, 24; e-mail: natalkoryagin@yandex.ru).

Иванов Алексей Алексеевич — д. б. н., проф., зав. кафедрой физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ayvanov@timacad.ru).

Pronina Galina Iozepovna — Doctor of Biological Sciences, leading researcher, State Research Institute of Irrigation Fish Breeding of the Russian Academy of Sciences (142460, Moscow region, Vorovskogo settlement, Sregeeva str., 24; e-mail: gidrobiont4@yandex.ru).

Koryagina Nataliya Yurievna — PhD in Biology, senior researcher State Research Institute of Irrigation Fish Breeding of the Russian Academy of Sciences (142460, Moscow region, Vorovskogo settlement, Sregeeva str., 24; e-mail: natalkoryagin@yandex.ru).

Ivanov Aleksey Alekseevich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Physiology, Ethology and Biochemistry, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; e-mail: ayvanov@timacad. ru).

УДК 636.38

ПРОДУКТИВНОСТЬ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУРДЮЧНЫХ ОВЕЦ КАЛМЫКИИ

Ю.А. ЮЛДАШБАЕВ¹, Б.К. САЛАЕВ¹, Б.Е. ГАРЯЕВ², Ю.Н. АРЫЛОВ³

(¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; ² ОАО Племзавод «Кировский»;

³ Центр диких животных Республики Калмыкия)

В работе изучены рост и развитие, зоотехнические показатели, убойные и мясные качества, физико-механические свойства шерсти и биологические особенности калмыцких курдючных овец с белой шерстью и эдильбаевских местных курдючных овец при разведении их в условиях Калмыкии.

Для увеличения мясо-сальной продукции и удельного веса белой шерсти хозяйствам разных форм собственности Калмыкии следует разводить калмыцких курдючных овец с белой шерстью, сочетающих в себе высокую мясную и шерстную продуктивность, хорошо приспособленных к местным условиям круглогодичного пастбищного содержания.

С целью повышения производства мяса-баранины от курдючных овец рекомендуется убой баранчиков проводить в возрасте 4,5 мес. — при достижении живой массы не менее 34 кг, а в возрасте 7 мес. — при достижении живой массы 43 кг и более.

Ключевые слова: порода, живая масса, рост и развитие, убойные показатели, молочность, шерсть, настриг шерсти.

Овцеводство Калмыкии — это традиционная, исторически сложившаяся отрасль животноводства. По данным Федеральной службы статистики поголовье овец в хозяйствах всех категорий составило 2346,1 тыс. гол. Развитию ведущей в республике отрасли животноводства способствует наличие обширных естественных кормовых угодий, расположенных в зоне сухих степей и полупустынь площадью 5,2 млн га.

Мировой опыт развития овцеводства показывает, что повышение эффективности и конкурентоспособности отрасли связано с более полным использованием мясной продуктивности овец. Специализация овцеводства на производство баранины требует наличия пород, отличающихся высокой мясной продуктивностью и скороспелостью. Этому требованию в полной мере отвечают курдючные породы мясо-сального направления продуктивности. Академик М.Ф. Иванов свое отношение к курдючной овце выразил так: «Курдючная овца не имеет для себя конкурентов и не может быть заменена никакой другой породой». К представителям отечественных мясо-сальных пород относятся эдильбаевская и калмыцкая курдючная породы.

Изучение хозяйственно-полезных признаков и биологических особенностей новой калмыцкой курдючной породы в сравнительном аспекте с исходными эдильбаевскими местными животными актуально и имеет как научную, так и практическую значимость.

Цель работы — изучить мясную и шерстную продуктивность, а также биологические особенности курдючных овец, разводимых в экстремальных условиях Калмыкии.

Материал и методика исследований

Экспериментальная часть работы проводилась в ОАО «Кировский» Яшкульского района Республики Калмыкия, а также в лаборатории шерсти РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева и лабораториях Калмыцкого НИИСХ.

На протяжении всего эксперимента подопытные животные находились в одном хозяйстве в одинаковых условиях кормления и содержания. Поголовье баранов-производителей представлено типичными животными, которые при бонитировке были оценены классом элита. В опыте использовали маток разного генотипа в возрасте 3 лет I класса, из них были сформированы две группы ($n = 50$) по принципу аналогов.

Материалом послужили животные разного происхождения: бараны-производители (30 гол.), матки (100 гол.), ярки (100 гол.), баранчики (100 гол.). Воспроизводительные особенности животных изучались на матках всей отары (301 гол.) по данным бонитировки.

Основной кормовой базой овец в хозяйстве являются естественные пастбища, на которые приходится 70–80% годового рациона, около 7–10% составляют концентрированные корма и 12–17% — грубые корма. В хозяйстве используется пастбищно-стойловая система содержания животных. Пастбищный период в Калмыкии составляет 285 дней в году.

Живая масса определялась путем взвешивания животных с точностью до 0,1 кг при рождении и в возрасте четырех, восьми и двенадцати месяцев. Данные для статистической обработки брались по журналам зоотехнического учета и бонитировки.

По полученным данным рассчитаны абсолютный, относительный и среднесуточный прирост животных в разные периоды жизни.

Экстерьерные показатели животных определялись параллельно с взвешиванием. С этой целью были взяты 8 промеров, отражающих особенности развития животного: длина и ширина головы, высота в холке и крестце, глубина и ширина груди, косая длина туловища, обхват груди, обхват пясти и ширина в маклаках. Для более полной оценки телосложения и степени развития отдельных статей экстерьера вычислены следующие 8 индексов: длинноногости, растянутости, грудной, сбитости, костистости, массивности, широколобости и перерослости.

Воспроизводительные свойства изучались:

- у маток плодовитость устанавливалась по количеству всех ягнят (живых и мертворожденных), полученных на 100 обьягнвившихся маток;

- молочность маток определена по приросту ягнят за первые двадцать дней жизни. Для определения средней молочной продуктивности овцематок абсолютный прирост живой массы ягнят за первые 20 дней жизни умножен на 5 (количество килограммов материнского молока, расходуемое на один килограмм прироста живой массы ягнят в подсосный период);

- резистентность организма овец изучалась по методике ВНИИОК (1987). С этой целью у подопытных баранчиков ($n = 10$) каждой группы в сентябре взяты пробы для определения фагоцитарной, бактерицидной и лизоцимной активности сыворотки крови.

Сохранность молодняка определялась при отъеме (в возрасте 4 мес.) на основании данных зоотехнического учета.

Мясные качества овец изучены путем контрольного убоя баранчиков 8-месячного возраста после их нагула и откорма (по 3 гол., типичных по живой массе и упитанности для своей группы). Убой проводился по методике ВИЖа (1978). При этом учитывались живая масса перед убоем, масса парной и охлажденной туши, масса внутреннего жира. На основе этих данных вычислялся убойный выход.

Для более полной характеристики мясных качеств провели обвалку для определения *морфологического состава* туш. По результатам обвалки рассчитаны коэффициенты мясности. После обвалки от каждой туши отобраны пробы мяса для определения химического состава (содержание воды, сырого протеина и сырого жира) согласно методике ВИЖ (1978). По усредненным пробам проведен химический анализ мяса и определена его калорийность путем расчета по данным химического состава. При пересчете использованы коэффициенты (для белка — 5,71, для жира — 9,5), на которые умножался показатель процентного содержания белка и жира в мясе.

Шерстная продуктивность определялась у всех подопытных животных путем индивидуального учета настрига невытой шерсти во время стрижки с точностью до 0,1 кг.

Выход мытой шерсти определялся по методике ВНИИОК (1981).

Физико-механические свойства шерсти изучались по следующим показателям:

Тонина шерсти определялась лабораторно по 10 образцам, взятым с бока у животных четырех половозрастных групп.

Естественная длина шерсти измерялась у всех подопытных овец лабораторно по 10 образцам каждой группы.

Прочность шерстных волокон определялась в лаборатории на динамометре по методике ВНИИОК (1984) по 10 образцам каждой группы.

Содержание *нешерстных компонентов* изучали лабораторно, при этом определяли количество шерстного жира, пота, влаги, растительных и минеральных примесей и шерстного основания по методике МСХА (1996).

Соотношение основных типов волокон: пуха, переходных волокон, ости и мертвого волоса — по методике ВАСХНИЛ (1985).

Эффективность производства продукции определена как в натуральном, так и в денежном выражении в расчете на одну голову.

Материалы исследований обработаны методом вариационной статистики с использованием ПК Pentium программы Misrosoft и Excel.

Результаты исследований

1. Продуктивность курдючных овец

1.1. Живая масса и настриг шерсти

Живая масса, уровень шерстной продуктивности и ее качество являются важнейшими селекционируемыми признаками при отборе. Именно у животных новой калмыцкой курдючной породы овец удалось закрепить оптимальное сочетание мясной и шерстной продуктивности с их хорошей устойчивостью к суровым климатическим условиям.

Продуктивные особенности курдючных овец разного происхождения представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Живая масса овец, кг

Порода	Половозрастная группа	Возраст, лет	Показатель		
			$M \pm m$	δ	$C_v, \%$
Калмыцкая курдючная	Бараны	3–4	$89,6 \pm 0,46$	2,48	2,76
	Матки	3	$63,5 \pm 0,23$	2,28	3,60
	Баранчики	14 мес.	$63,3 \pm 0,24$	2,41	3,81
	Ярочки	14 мес.	$50,4 \pm 0,26$	2,56	5,09
Эдильбаевские местные курдючные	Бараны	3–4	$83,7 \pm 0,41$	2,20	2,63
	Матки	3	$59,1 \pm 0,24$	2,44	4,13
	Баранчики	14 мес.	$58,3 \pm 0,24$	2,40	4,13
	Ярочки	14 мес.	$46,5 \pm 0,25$	2,51	5,42

Бараны калмыцкой курдючной породы имеют хорошую живую массу — 89,6 кг, а матки — 63,5 кг. Яркие имели живую массу 50,4 кг, что составляет 79,4% от массы взрослых маток, т.е. в возрасте одного года яркие почти достигают уровня продуктивности взрослых животных. Живая масса баранчиков составила 63,3 кг, что соответствует 70,6% от массы взрослых баранов.

Местные эдильбаевские курдючные овцы несколько уступали по живой массе сверстникам по всем половозрастным группам. Так, бараны имели массу 83,7 кг, что на 5,9 кг, или 6,6%, меньше, чем у сверстников новой калмыцкой курдючной породы овец. Матки уступали сверстницам на 4,4 кг или на 7%. Такая же тенденция — по молодняку сравниваемых групп животных.

В целом необходимо отметить что овцы, сравниваемых групп — это крупные животные, имеющие хорошие показатели продуктивности по живой массе, соответствующие по данному признаку требованиям стандарта для грубошерстных овец.

Настриги шерсти овец разного происхождения представлены в разрезе половозрастных групп.

Настриги невытой шерсти по животным калмыцкой курдючной породы выше, нежели по сверстникам местных овец. Так, настриг невытой шерсти по баранам калмыцкой курдючной породы составил 3,1 кг, что на 0,5 кг больше, чем по сверстникам местных эдильбаевских курдючных баранов.

По группе маток разность составила 0,4 кг по яркам — 0,3, баранчикам — 0,4 кг соответственно. Анализ полученных данных показал, что животные всех половозрастных групп по новой породе превосходят эдильбаевских местных овец по настригу и обладают белой по цвету шерстью, что для перерабатывающей промышленности и предприятий народного творчества намного ценнее, чем шерсть цветная темная, получаемая от местных курдючных овец.

Настриг шерсти овец, кг

Порода	Половозрастная группа	Возраст, лет	Показатель		
			$M \pm m$	δ	$C_v, \%$
Калмыцкая курдючная	Бараны	3–4	$3,1 \pm 0,06$	0,31	10,10
	Матки	3	$2,2 \pm 0,03$	0,26	11,83
	Баранчики	14 мес.	$2,3 \pm 0,02$	0,24	10,51
	Ярочки	14 мес.	$1,9 \pm 0,03$	0,26	13,97
Эдильбаевские местные курдючные	Бараны	3–4	$2,6 \pm 0,05$	0,27	10,50
	Матки	3	$1,9 \pm 0,03$	0,25	13,53
	Баранчики	14 мес.	$1,9 \pm 0,03$	0,27	13,98
	Ярочки	14 мес.	$1,6 \pm 0,03$	0,26	16,67

1.2. Воспроизводительные качества

Воспроизводительная способность зависит от биологических особенностей овец и указывает на степень адаптации породы к условиям ее разведения.

Воспроизводительные свойства маток калмыцкой курдючной породы несколько выше, чем по исходным местным эдильбаевским курдючным маткам.

Так, количество обьягнвившихся маток в группе калмыцких курдючных маток составило 90,0%, аборт маток — 1,3%, отход маток за период ягнения — 2,0%, яловость 6,7%. В итоге на 100 маток, имевшихся на начало ягнения, получено по 113,3% и 104,6%, на каждые 100 обьягнвившихся маток — по 125,9%, что на 8,7 и 4,5% больше, чем в среднем по местным эдильбаевским курдючным маткам, и в большей степени отражает биологическую плодовитость и возможности маток новой породы.

1.3. Сохранность и резистентность молодняка

В воспроизводстве стада, наряду с плодовитостью маток, большое значение имеет получение здорового и жизнеспособного приплода и его сохранение. В ОАО «Кировский» проводится комплекс организационно-хозяйственных мероприятий, обеспечивающих повышение резистентности молодняка на всех стадиях его выращивания. Так, по данным таблицы 3, в расчете на 100 обьягнвившихся маток отбито в среднем 160 и 149 ягнят соответственно. Сохранность составила 98,8 и 98,7%. Немаловажную роль в показателях продуктивности играет резистентность молодняка, обуславливающая хорошую сохранность приплода. Отход (падеж) ягнят за период ягнения по изучаемым группам составила 2,0–2,3%.

Динамика показателей неспецифической резистентности приведена в таблице 4.

Таблица 3

Результаты ягнения маток

Показатель	Порода			
	калмыцкая курдючная		эдильбавские местные курдючные	
	гол.	%	гол.	%
Число маток на начало ягнения	150	100	151	100
из них:				
–объягнились	135	90,0	130	86,1
– абортiroвали	2	1,3	4	3,8
– пали за период ягнения	3	2,0	3	2,3
– остались яловыми	10	6,7	14	10,8
Получено всего ягнят	170	—	158	—
Пало ягнят за период ягнения	8	4,7	7	4,4
Получено живых ягнят	162	—	151	—
На 100 маток:				
на начало ягнения	—	113,3	—	104,6
на объягнившуюся матку	—	125,9	—	121,5
Сохранность к отъему	160	98,8	149	98,7

Таблица 4

Естественная резистентность баранчиков

Порода	Активность сыворотки крови, %		
	бактерицидная	лизоцимная	фагоцитарная
Калмыцкая курдючная	48,7 ± 2,20	29,4 ± 1,44	35,3 ± 1,54
Эдильбавские местные курдючные	56,9 ± 1,78	28,2 ± 1,30	37,6 ± 1,39

По уровню бактерицидной и фагоцитарной активности подопытные баранчики новой породы уступали местным курдючным сверстникам на 8,2% и 2,3% соответственно. В целом эти показатели позволяют отметить высокую изменчивость, характеризующую хорошую лабильность и адаптацию животных к условиям разведения.

1.4. Молочность маток

Молоко овец является полноценным продуктом в рационе человека, а для ягнят — основным незаменимым источником питания в первые месяцы их жизни.

Т а б л и ц а 5

Молочность маток, кг

Показатель	Молочность маток за 20 дней			
	калмыцкая курдючная		эдильбавские местные курдючные	
	n	M ± m	n	M ± m
В среднем по яркам и баранчикам	48	28,6 ± 0,85	51	28,7 ± 0,74
Среднесуточная молочность	48	1,43	51	1,44

Молочность маток сравниваемых групп находится на уровне — 28,6 кг. Молочность маток принесших баранчиков (29,6 кг) несколько выше, нежели у маток с ярочками (27,6 кг), разность составила в среднем 2,0 кг по маткам желательного типа и местными курдючными. Суточная молочность по изучаемым группам составила 1,43 и 1,44 кг.

Молочность маток сравниваемых групп находится на хорошем уровне и обеспечивает потребности ягнят в молоке. В среднем по живой массе ягнята, как ярочки, так и баранчики, за период определения молочности удвоили свою живую массу.

1.5. Экстерьерные показатели

Экстерьер животных — это их внешний вид, наружные формы в целом. По экстерьерным особенностям можно судить о развитии, состоянии здоровья, продуктивности, породных особенностях, биологической стойкости и приспособленности, животных к природно-климатическим и кормовым условиям отдельных зон.

Т а б л и ц а 6

Промеры статей тела овец разного происхождения, см

Показатель	Калмыцкая курдючная		Эдильбавские местные курдючные	
	бараны	матки	бараны	матки
Высота в холке	78,1	73,4	79,8	74,8
Косая длина туловища	82,0	75,1	85,2	77,2
Глубина груди	36,2	34,3	35,8	33,2
Ширина груди	25,0	21,0	22,5	20,3
Обхват груди	109,0	96,5	103,0	96,1
Обхват пясти	10,1	8,2	9,7	8,0
Высота в крестце	79,4	74,3	81,2	76,1
Длина головы	24,0	20,0	28,5	25,0
Ширина в маклаках	21,9	20,7	20,9	20,4

Местные эдильбаевские курдючные бараны и матки имеют некоторое превосходство над животными нового генотипа по высотным промерам (высота в холке и в крестце) на 1,4–1,8 см; по косой длине туловища — на 2,1–3,2 см, тогда как по промерам, характеризующим промеры, указывающие на компактность телосложения и мясные формы (глубина и ширина груди; обхват груди и пясти; ширина в маклаках), превосходство было за животными желательного типа.

Индексы растянутости, высоконогости и большеголовости лучше развиты у местных курдючных овец, нежели у овец калмыцкой курдючной породы, тогда как по индексам сбитости, массивности и тазо-грудному преимуществу остается за животными калмыцкой курдючной породы.

Т а б л и ц а 7

Индексы телосложения подопытных животных разного происхождения, %

Показатель	Калмыцкая курдючная		Эдильбаевские местные курдючные	
	бараны	матки	бараны	матки
Сбитости	133	128	121	124
Растянутости	105	102	107	103
Костистости	13	11	12	11
Грудной	69	61	63	61
Высоконогости	54	53	55	55
Массивности	140	131	129	128
Тазо-грудной	114	103	108	100
Большеголовости	31	27	36	33
Перерослости	102	101	102	101

2. Мясная продуктивность молодняка

2.1. Убойные показатели

Молодая баранина по своим вкусовым качествам принадлежит самым лучшим видам мяса, а возраст убоя овец на мясо целиком зависит от потребительского спроса и традиций населения. Следует иметь в виду, что качество баранины бывает наилучшим, если овец убивают на мясо в возрасте до одного года, ибо наиболее интенсивное отложение жира в мышечной ткани начинается после первого года жизни животного.

Из данных таблицы видим, что в возрасте 4,5 мес. баранчики калмыцкой курдючной породы превосходят своих сверстников по всем убойным показателям, кроме массы курдюка и по убойному выходу с учетом курдюка. В 7 мес. превосходство баранчиков калмыцкой курдючной над эдильбаевскими местными курдючными сохраняется по всем убойным показателям, кроме убойного выхода без курдючного сала.

В возрасте 4,5 мес. масса туши у баранчиков калмыцкой курдючной породы составила 14,7 кг и достоверно превосходила по данному показателю сверстников

Убойные показатели баранчиков

Показатель	Порода			
	калмыцкая курдючная		эдильбаевские местные курдючные	
Возраст, мес.	4,5	7	4,5	7
Масса, кг: предубойная	35,4 ± 0,43	44,3 ± 0,79	34,5 ± 0,88	43,6 ± 0,87
охлажденной туши	14,7 ± 0,48	18,5 ± 0,63	14,2 ± 0,29	18,3 ± 0,52
внутреннего жира (г)	145,0 ± 2,89***	365,0 ± 52,52	125,0 ± 2,32	315,0 ± 61,71
курдюка	3,2 ± 0,25	4,3 ± 0,49	3,5 ± 0,39	4,1 ± 0,56
убойная без курдюка	14,85 ± 0,58	18,87 ± 0,67	14,33 ± 0,39	18,62 ± 0,53
убойная с курдюком	18,1 ± 0,67	23,2 ± 0,41	17,8 ± 0,46	22,7 ± 0,85
Убойный выход, %: без курдюка	41,9 ± 0,25	42,6 ± 0,25	41,5 ± 0,36	42,7 ± 0,36
с курдюком	51,1 ± 0,80	52,3 ± 0,81	51,5 ± 0,98	52,0 ± 0,77

эдильбаевской породы на 0,5 кг, или 3,4%. Также высокие достоверные различия получены по содержанию внутреннего жира у данных групп — 20 г, или 13,8%.

Следует отметить, что уже в возрасте 4,5 мес. курдюк в обеих группах хорошо развит, его масса достигает 3,2–3,5 кг. По массе курдюка разность между сравниваемыми группами составляет 0,3 кг, или 9,3%, в пользу эдильбаевских местных курдючных баранчиков. Также следует отметить достаточно высокий убойный выход с учетом курдюка у подопытных групп баранчиков, который составил 51,1 и 51,5% в возрасте 4,5 мес. У баранчиков калмыцкой курдючной породы масса курдюка за период от 4,5 до 7 мес. увеличивается на 1,1 кг, или 25,6%, а у сверстников — на 0,6 кг, или 14,6%. Убойный выход с курдюком у баранчиков обеих групп в разные периоды убоя (4,5 и 7 мес.) практически был одинаковый — 51,1–51,5 и 52,3–52,0% соответственно. Способность к отложению жира в молодом возрасте в купе с высоким приростом живой массы является скороспелостью, поэтому баранчиков обеих групп можно отнести к скороспелым животным, которые при убое в раннем возрасте дают полноценную тушу.

2.2. Морфологический состав туши

Оценка морфологического состава туши представляет значительный практический и теоретический интерес при оценке мясной продуктивности и скороспелости животных. Только она может дать правильное представление о массе и соотношении тканей: мышечной, жировой, костной, формирующих мясность овец.

Т а б л и ц а 9

Морфологический состав туш баранчиков разных возрастов

Показатель	Порода			
	калмыцкая курдючная		эдильбаевские местные курдючные	
Возраст, мес.	4,5	7	4,5	7
Масса, кг: охлажденной туши	14,7 ± 0,48	18,5 ± 0,63	14,2 ± 0,29	18,3 ± 0,52
мякоти	10,7 ± 0,34	13,3 ± 0,32	10,3 ± 0,72	13,0 ± 0,64
мякоти с курдюком	13,9 ± 0,39	17,6 ± 0,48	13,8 ± 0,56	17,1 ± 0,44
костей	4,0 ± 0,08	5,2 ± 0,07	3,9 ± 0,06	5,3 ± 0,05
Выход мякоти, %	73,1 ± 0,40	71,8 ± 0,55	72,6 ± 0,96	70,9 ± 0,87
Выход костей, %	26,9 ± 0,62	28,2 ± 0,85	27,4 ± 0,54	29,1 ± 0,65
Отношение мышцы/кости	2,7 ± 0,09	2,6 ± 0,08	2,6 ± 0,05	2,5 ± 0,05
Коэффициент мясности (с учетом курдюка)	3,5 ± 0,09	3,4 ± 0,08	3,5 ± 0,06	3,2 ± 0,11

По массе мякоти баранчики калмыцкой курдючной породы превосходили эдильбаевских сверстников в 4,5-мес. возрасте на 0,4 кг, или 3,7%, а в 7 мес. это различие составило 0,3 кг, или 2,3%, тогда как по массе костей по изучаемым группам различий практически не выявлено. Масса костей у эдильбаевских местных курдючных баранчиков были на 0,1 кг больше, чем у сверстников калмыцкой курдючной породы. Выход мяса-мякоти у баранчиков калмыцкой курдючной породы в возрасте 4,5 месяцев составил 73,1%, а в 7 мес. — 71,8%, что на 0,5 и 0,9 абсолютных процента больше, чем у сверстников эдильбаевских местных курдючных баранчиков.

Коэффициент мясности определенный с учетом массы курдюка также уменьшался с возрастом животных, и, как в 4,5-, так и в 7-мес. возрасте коэффициент мясности был выше у баранчиков калмыцкой курдючной породы.

2.3. Химический состав мяса

Качественная оценка питательной ценности мяса в значительной степени определяется его химическим составом и энергетической ценностью.

По химическому составу проб мякоти существенных различий между группами не выявлено, как при убое в 4,5- и 7-мес. возрасте.

В пробе мяса 4,5-мес. баранчиков, в среднем по двум группам, содержание влаги составило 65,9%, белка — 18,2%, жира — 15,0, золы — 1,0%.

С возрастом изменениям в большей степени подвергается содержание жира, чем других показателей. За счет его изменения увеличивается и калорийность мяса.

Калорийность мяса в 4,5-мес. возрасте была несколько более высокая у баранчиков калмыцкой курдючной породы и составляла в среднем 1079,9 ккал, пре-

Т а б л и ц а 10

Химический состав средней пробы мякоти баранчиков

Порода	Возраст, мес.	Содержание в мякоти, %				Калорийность, ккал
		вода	белок	жир	зола	
Калмыцкая курдючная	4,5	65,5	18,4	15,0	1,1	1079,9
	7	62,3	17,8	18,0	1,0	1272,0
Эдильбаевские местные курдючные	4,5	66,3	17,9	14,9	0,9	1075,0
	7	63,4	16,6	19,0	1,0	1313,0

восхитив мясо баранчиков эдильбаевских местных курдючных на 4,9 ккал, тогда как в 7 мес. данный показатель был выше у эдильбаевских местных курдючных баранчиков и составил 1313 ккал, что на 41 ккал, или 3,1%, выше, чем у сверстников калмыцкой курдючной породы.

Пищевая ценность мяса характеризуется также соотношением в нем незаменимых и заменимых аминокислот, называемым белково-качественным показателем. Чем больше это соотношение, тем мясо в пищевом отношении оценивается выше.

Для объективной оценки качества мяса от молодняка обеих групп нами проведен его биохимический анализ. По содержанию незаменимой аминокислоты триптофана и соотношению ее к заменимой аминокислоте оксипролину судят о пищевой ценности мясной продукции, выражаемой величиной белково-качественного показателя.

Т а б л и ц а 11

Биохимический анализ мякоти

Показатель	Порода	
	калмыцкая курдючная	эдильбаевские местные курдючные
Триптофан, мг/%	267 ± 6,98	219 ± 7,88
Оксипролин, мг/%	68 ± 1,29	65 ± 1,48
Белково-качественный показатель мяса	3,93	3,37

По данным таблицы видим, что в образцах мяса длиннейшего мускула спины баранчиков калмыцкой курдючной породы содержание аминокислоты триптофана было больше, чем у эдильбаевских местных курдючных, на 46 мг/%, а оксипролина — на 3,0%.

Лучшее соотношение триптофана к оксипролину, т.е. белково-качественный показатель мяса, у баранчиков калмыцкой курдючной породы больше на 0,56, или

на 16,6%, чем у сверстников эдильбаевских местных курдючных баранчиков. Это указывает на то, что мясо баранчиков калмыцкой курдючной породы отличается от аналогичного показателя мяса эдильбаевских местных баранчиков несколько лучшим пищевым достоинством, хотя и мясо последних характеризуется высокими качественными показателями.

3. Свойства шерсти овец

Курдючные породы овец дают нужную в народном хозяйстве неоднородную шерсть. К грубой неоднородной шерсти относят шерсть, весьма различную по своим качествам, состоящую из смеси всех типов волокон. В отличие от других курдючных пород животные новой калмыцкой курдючной породы характеризуются белым шерстным покровом, черной или рыжей окраской головы и шеи.

3.1. Соотношение основных типов волокон и морфологический состав шерсти

Шерсть эдильбаевских местных курдючных и калмыцких курдючных овец имеет косичное строение. Косицы состоят из пуха, переходного волокна, ости и мертвых волос.

Т а б л и ц а 12

Соотношение основных типов волокон, %

Тип волокон	Показатель	Порода	
		калмыцкая курдючная	эдильбаевские местные курдючные
Пуховые	$M \pm m$	$52,6 \pm 1,21^{***}$	$40,3 \pm 1,42$
	δ	5,97	7,99
Переходные	$M \pm m$	$12,4 \pm 1,15$	$15,8 \pm 1,32^{**}$
	δ	6,23	7,34
Остевые	$M \pm m$	$29,6 \pm 1,47$	$35,8 \pm 1,50^{**}$
	δ	6,77	11,93
Мертвый волос	$M \pm m$	$3,4 \pm 1,65$	$6,2 \pm 1,42$
	δ	3,07	5,82
Примеси (перхоть)	$M \pm m$	$2,0 \pm 0,94$	$1,9 \pm 0,87$
	δ	3,07	4,82

По соотношению основных типов волокон у маток разных сравниваемых групп выявлены существенные различия. Так, по содержанию пуховых волокон шерсть маток калмыцкой курдючной породы превосходила шерсть сверстниц на 12,3% при высокой степени достоверности, тогда как у эдильбаевских местных курдючных содержание переходных было больше на 3,4%, остевых — на 6,2%, чем у

сверстниц калмыцкой курдючной породы. Содержание мертвых волокон нежелательно для шерсти, и чем меньше доля таких волокон, тем качество шерсти выше. В образцах шерсти изучаемых групп содержание мертвых волокон колебалось в пределах от 3,4 до 6,2%. Большим содержанием мертвого волоса характеризуется шерсть эдильбаевских местных курдючных овец. Превышение по данному типу шерстных волокон составило 2,8% относительно сверстниц калмыцкой курдючной породы.

Как известно, в грубой неоднородной шерсти присутствуют примеси в виде перхоти. В шерсти изучаемых групп содержание перхоти находилось в пределах нормы и составило 1,9–2,0% соответственно.

3.2. Содержание нешерстных компонентов в грубой шерсти

В последнее время многие исследователи обращают внимание на изучение содержания нешерстных компонентов. Образцы шерсти были изучены и на предмет содержания нешерстных компонентов и выход мытой шерсти (табл. 13).

Т а б л и ц а 13

Содержание нешерстных компонентов в шерсти маток, %

Показатель	Порода	
	калмыцкая курдючная	эдильбаевские местные курдючные
Влага	12,62	7,97
Шерстный жир	4,21	5,34
Пот	6,27	8,72
Минеральные примеси	12,63	11,62
Растительные примеси	2,43	2,04
Чистое волокно	61,84	64,31
Соотношение пот: жир	1,5	1,6

Грубая шерсть, полученная от курдючных овец, в основном отличается повышенным содержанием минеральных и растительных примесей. Так, в шерсти овец изучаемых групп содержание минеральных примесей составило 11,62 и 12,63%. Содержание растительных примесей в шерсти обеих групп составило 2,43 и 2,04%, допустимое значение — не более 1%. Наибольшим выходом мытой шерсти характеризовалось сырье, полученное от эдильбаевских местных курдючных маток (64,31%), что незначительно выше показателей сверстниц на 2,5%.

3.3. Физико-механические свойства шерсти

Исследования, предусматривающие изучение физико-механических свойств шерсти овец в сравнительном аспекте при создании новых типов и пород, на сегодняшний день являются весьма актуальными.

Тонина шерсти в основном определяет ценность шерстяного сырья, это важная составляющая настрига шерсти. Тонина шерсти на 80% определяет ценность шерстяного сырья и находится в тесной взаимосвязи с другими показателями продуктивности животных.

Т а б л и ц а 14

Физико-механические свойства шерсти маток, %

Показатель	Порода			
	калмыцкая курдючная		эдильбаевские местные курдючные	
	M ± m	δ	M ± m	δ
Тонина, мкм:				
пуховых	17,3 ± 0,24***	3,7	15,7 ± 0,41	3,9
переходных	33,7 ± 0,74	2,5	42,5 ± 0,54***	1,8
остевых	62,2 ± 0,78	1,2	70,4 ± 0,92***	2,0
Длина, см:				
пуховой зоны	7,2 ± 0,65	2,2	8,7 ± 0,78	3,45
косицы	16,6 ± 1,41	4,11	17,8 ± 1,52	3,74
Прочность по пучку, сН/текс	11,0 ± 0,56	2,03	12,3 ± 0,97	1,67

Как видим из данных таблицы, тонина пуховых волокон шерсти овец калмыцкой курдючной породы составила 17,3 мкм, что на 1,6 мкм, или 9,2%, грубее, чем по шерсти эдильбаевских местных курдючных животных. Пуховые волокна обеих групп уравниваются по тонине, среднее квадратическое отклонение не превышает 3,7–3,9 мкм.

Средний диаметр переходных волокон варьирует в пределах 33,7–42,5 мкм. Переходные волокна овец эдильбаевских местных курдючных на 8,8 мкм, или 26,1%, превышают по данному показателю животных калмыцкой курдючной породы.

Остевые волокна по тонине относятся к среднему классу, и у шерсти овец калмыцкой курдючной породы средний диаметр составил 62,2 мкм. Так же, как и по переходным волокнам, диаметр остевых был грубее у эдильбаевских местных курдючных на 8,2 мкм, или 13%, нежели у животных калмыцкой курдючной породы.

Длина шерсти является важной составляющей настрига шерсти, чем определяется ее селекционное значение.

Все образцы шерсти отличаются хорошей длиной со средними показателями по уравниваемости. Наиболее длинная шерсть по пуховой зоне и косице у эдильбаевских местных курдючных овец — 8,7 и 17,8 см соответственно, что на 20,8 и 7,2% превышает показатели по группе овец калмыцкой курдючной породы.

Прочность является важным свойством шерсти. Этот показатель тесно связан с технологическими свойствами шерсти и определяет ее производственное назначение.

Пучки волокон эдильбаевских местных курдючных овец имели разрывную нагрузку, равную 12,3 сН/текс, что на 1,3 сН/текс, или на 10,6%, прочнее, чем у сверстников из группы калмыцкой курдючной породы.

В нашем случае относительная разрывная нагрузка превышает минимальные требования НТД на 2,0 и 3,3 сН/текс, или на 18,2 и 36,7%, по шерсти овец калмыцкой курдючной породы и эдильбаевских местных курдючных соответственно.

3.4. Эффективность производства продукции

В результате проведенных исследований установлено, что производство баранины более выгодно при разведении баранчиков новой калмыцкой курдючной породы с белой шерстью. Баранина, произведенная животными калмыцкой курдючной породы, в 4,5-мес. и в 7-мес. возрасте реализована на сумму 2832,0 и 3544,0 руб., что на 72 и 56 руб., или 2,5 и 1,8%, больше, нежели сверстниками разного возраста эдильбаевскими местными курдючными баранчиками.

С учетом общей произведенной продукции шерсти плюс баранины, эффективности произведенной продукции в денежном выражении лучшей была по группе животных калмыцкой курдючной породы — 6661,0 руб., тогда как по эдильбаевским местным курдючным животным — 6365,6 руб. Разность в пользу овец калмыцкой курдючной породы составила 295,4 руб., или 4,4%. Доля денежной выручки от реализации баранины в общей суммарной выручке составила 98 и 99% по овцам калмыцкой курдючной породы и эдильбаевскими местными курдючными соответственно.

Выводы

1. При создании новой породы курдючных овец с белой шерстью, в типе улучшающей породы, эдильбаевские местные курдючные бараны имели массу 83,7 кг, что на 5,9 кг, или 6,6%, меньше, чем у сверстников калмыцкой курдючной породы овец. Матки уступали сверстницам на 4,4 кг, или на 7%. Настриг невытой шерсти по баранам калмыцкой курдючной породы составил 3,1 кг, что на 0,5 кг больше, чем по сверстникам эдильбаевских местных курдючных баранов.

2. Воспроизводительные свойства маток калмыцкой курдючной породы несколько выше, чем по исходным эдильбаевским местным курдючным маткам. На 100 маток калмыцкой курдючной породы на начало ягнения получено по 113,3%, на обьягнвившихся маток — по 125,9%, что на 8,7 и 4,5% больше, чем по эдильбаевским местным курдючным маткам. Молочность маток сравниваемых групп находится на хорошем уровне — 28,6 кг. Суточная молочность по изучаемым группам составила 1,43 и 1,44 кг.

3. По показателям неспецифической резистентности (бактерицидной и фагоцитарной активности) овцы калмыцкой курдючной породы уступали эдильбаевским местным курдючным сверстникам на 8,2% и 2,3% соответственно.

4. Индексы растянутости, высоконоговости и большеголовости лучше развиты у эдильбаевских местных курдючных овец, нежели у овец калмыцкой курдючной породы, тогда как по индексам сбитости, массивности и тазо-грудному преимуществу остается за животными калмыцкой курдючной породы.

5. Масса туши у баранчиков калмыцкой курдючной породы в возрасте 4,5 и 7 мес. составила 14,7 кг; 18,5 кг и превосходила сверстников на 0,5; 0,2 кг, или 3,4; 1,1%. Убойный выход с учетом курдюка у баранчиков обеих групп в разные пе-

риоды убоя (4,5 и 7 мес.) практически одинаковый — 51,1–51,5 и 52,3–52,0% соответственно.

6. Выход мяса-мякоти у баранчиков калмыцкой курдючной породы в возрасте 4,5 мес. составил 73,1%, а в 7 мес. — 71,8%, что на 0,5 и 0,9 абсолютных процента больше, чем у сверстников эдильбаевских местных курдючных баранчиков.

7. Калорийность мяса в 4,5-мес. возрасте у баранчиков калмыцкой курдючной породы составляла 1079,9 ккал и превосходила сверстников на 4,9 ккал; в 7 мес. данный показатель был выше у эдильбаевских местных курдючных баранчиков и составил 1313 ккал, что на 41 ккал выше, чем у сверстников калмыцкой курдючной породы. Белково-качественный показатель мяса у баранчиков калмыцкой курдючной породы был больше на 0,56, или на 16,6%, чем у сверстников эдильбаевских местных курдючных баранчиков.

8. Содержание пуховых волокон в шерсти маток калмыцкой курдючной породы составило 52,6%, больше, чем у сверстниц на 12,3%. У эдильбаевских местных курдючных содержание переходных (15,8%) было больше на 3,4% и остевых (35,8) на 6,2%, чем у сверстниц желательного типа. Содержание мертвых волокон колебалось в пределах от 3,4 до 6,2%.

9. Доля минеральных примесей в шерсти обеих групп составила 11,62 и 12,63%, растительных примесей — 2,43 и 2,04%. Наибольшим выходом чистой шерсти характеризовалось сырье, полученное от эдильбаевских местных курдючных маток (64,31%), что незначительно выше показателей сверстниц на 2,5%.

10. Физико-механические свойства шерсти маток:

а) тонина пуховых волокон шерсти овец калмыцкой курдючной породы составила 17,3 мкм, что на 1,6 мкм, или 9,2%, грубее, чем по шерсти эдильбаевских местных курдючных животных. Средний диаметр переходных волокон варьирует в пределах 33,7–42,5 мкм, а остевых волокон у эдильбаевских местных курдючных составил 62,2 мкм и был грубее на 8,2 мкм, или 13%, нежели у животных калмыцкой курдючной породы;

б) наиболее длинная шерсть по пуховой зоне и косице у эдильбаевских местных курдючных овец — 8,7 и 17,8 см соответственно, что на 20,8 и 7,2% превышает показатели по группе овец калмыцкой курдючной породы;

в) прочность волокон эдильбаевских местных курдючных овец составила 12,3 сН/текс, что на 1,3 сН/текс, или 10,6%, прочнее, чем у сверстников из группы калмыцкой курдючной породы.

11. Эффективность произведенной продукции (шерсть плюс баранина) в денежном выражении лучшей была по группе животных калмыцкой курдючной породы — 6661,0 руб. на одну гол., тогда как по эдильбаевским местным курдючным животным — 6365,6 руб. Разность в пользу овец калмыцкой курдючной породы составила 295,4 руб., или 4,4%. Доля выручки от реализации баранины в общей суммарной выручке составила 98 и 99%.

Библиографический список

1. *Гаряев Б.Е.* Племенное животноводство — стратегия успеха // Зоотехния. 2010. № 5. С. 11–12.
2. *Юлдашбаев Ю.А., Донгак М.И., Гаряев Б.Е.* Характеристика аборигенных грубошерстных пород овец Республики Тыва и Калмыкии // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2011. Вып. 1. С. 150–156.

3. Юлдашбаев Ю.А., Ельсукова И.А., Арилов А.Н., Гаряев Б.Е. Характеристика неоднородной шерсти курдючных овец // Сб. материалов Межд. научной конф. Элиста, 2009. С. 504–506.

THE PRODUCTIVITY AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FAT-TAILED SHEEP OF KALMYKIA

Yu.A. YULDASHBAEV¹, B.K. SALAYEV¹, B.E. GARYAEV², Yu.N. ARYLOV³

(¹ Russian Timiryazev State Agrarian University; ² PLC Plemzavod «Kirovskiy»;
³ Center of Wild Animals in the Republic of Kalmykia)

In the paper we study the growth and development, zootechnical performance, carcass and meat quality, physical and mechanical properties of wool and biological characteristics of the Kalmyk fat-tailed sheep with white wool and edilbaevskaya local fat-tailed sheep breed grown in Kalmykia. To increase the volume of meat-fat products and bulk density of white fur farms of different ownership forms of Kalmykia the Kalmyk fat-tailed sheep breed of with white wool should be reared, because it combines high meat and wool productivity, moreover; this breed is well adapted to local conditions of year-round pasture grazing. In order to increase the production of mutton meat from fat-tailed sheep it is recommended to slaughter young rams at the age of 4.5 months, when the live weight reaches no less than 34 kg, and at the age of 7 months when the live weight is 43 kg and higher.

Key words: breed, live weight, growth and development, slaughter performance, milking, wool, wool production.

Юлдашбаев Юсупжан Артыкович – д. с.-х. н., проф., декан факультета зоотехнии и биологии (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-02-36; e-mail: zoo@timacad.ru).

Салаев Бадма Катинович – к. с.-х. н., докторант-соискатель РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-02-36; e-mail: zoo@timacad.ru).

Гаряев Бадма Есинович – к. с.-х. н., ген. директор ОАО Племзавод «Кировский» (359150, Республика Калмыкия, Яшкульский район, с. Яшкуль, ул. Клыкова, д. 86; тел.: (84746) 9-11-49).

Арылов Юрий Нимеевич – д. б. н., директор Центра диких животных (358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. В. Чкалова, 36; тел.: (84722) 2-06-28; e-mail: kalmsaiga@mail.ru).

Yuldashbaev Yusupzhan Artykovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Animal Husbandry and Biology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel.: +7 (499) 976-02-36; e-mail: zoo@timacad.ru).

Salaev Badma Katinovich – PhD in Agriculture, doctor degree candidate, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel.: +7 (499) 976-02-36; e-mail: zoo@timacad.ru).

Garyayev Badma Esinovich – PhD in Agriculture, Director General PLC Plemzavod «Kirovskiy» (359150, The Kalmyk Republic, Yashul'skiy region, Yashul' village, Klykova str., 86; tel.: +7 (84746) 9-11-49).

Arylov Yuriy Nimeevich – Doctor of Biological Sciences, Head of the Centre of Wild Animals (358000, The Kalmyk Republic, Elista, V. Chkalov str., 36; tel.: +7 (84722) 2-06-28; e-mail: kalmsaiga@mail.ru).

УДК 663.252.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ МУЛЬТИФЕРМЕНТНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФРУКТОВЫХ ВИН

А.А. ВОЛЧОК¹, А.М. РОЖКОВА¹, И.Н. ЗОРОВ¹, С.С. ЩЕРБАКОВ³, А.П. СЕНИЦЫН^{1,2}

(¹ Институт биохимии им. А.Н. Баха; ² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; ³ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Проведено исследование воздействия новых мультиэнзимных композиций, применяемых при изготовлении фруктовых вин на стадии получения сусла, на качество готовой продукции. Изучаемые ферментные комплексы были ранее получены в ходе селекции и при помощи генной инженерии из микроскопического гриба *Penicillium verruculosum*, секретирующего эффективный комплекс целлюлаз.*

Приведены основные характеристики мультиферментных комплексов, а также представлены характеристики полученных с их использованием фруктовых вин, что дает возможность судить о потенциальных возможностях использования данных ферментных препаратов в промышленных масштабах. В ходе работы регистрировался выход сусла из мезги после ферментативной обработки и такие показатели, как относительная вязкость сусла, содержание в нем взвесей. В готовых винах определяли ряд физико-химических показателей и цветковые характеристики.

Полученные данные достоверно подтверждают эффективность использования новых мультиферментных комплексов в винодельческой промышленности.

*Ключевые слова: ферментные препараты, ферментативная обработка, *Penicillium verruculosum*, фруктовые вина, виноделие.*

Технология изготовления фруктовых вин характерна своей специфичностью, связанной с применением сырья, различного по химическому составу и требующего разных условий и методов переработки. Производство вин этого типа часто бывает сопряжено с такими трудностями, как небольшой выход сусла из плодовой мезги, сложности прессования, замедленное осветление сусла, возникновение помутнений и изменение цветковых характеристик продукта [4].

На данный момент наиболее эффективным решением данных технологических проблем многими производителями признана ферментативная обработка сырья, предшествующая процессам прессования и фильтрации [7, 9]. В последние 5–10 лет на рынке вспомогательных материалов предлагается большое разнообразие ферментных препаратов, нацеленных на облегчение осветления сусла, стабилизацию вин против помутнений коллоидной природы, достижение гармоничного и разнообразного аромата готового продукта [1]. В связи с возрастающей потребностью производителей в ферментных комплексах, обладающих набором необходимых для достижения положительных результатов активностей в оптимальном соотноше-

нии, в лаборатории биотехнологии ферментов Института биохимии им. А.Н. Баха (ИНБИ РАН) непрерывно ведутся работы по получению новых ферментных препаратов. Исследования действия на различные плодовые субстраты ферментных комплексов, эффективно гидролизующих пектин и целлюлозосодержащее сырье, позволили получить данные о целесообразности их использования в винодельческом производстве.

В качестве объектов исследования выступали ферментные препараты ВІ 3-227.7 и ВІ 3-227.4, полученные на основе рекомбинантного штамма *Penicillium Verruculosum* и давшие наилучшие результаты по выходу сока из плодовой мякоти, а также увеличению содержания в сусле восстанавливающих сахаров в ранее проводимых экспериментах [5].

Методика исследования

В качестве плодового и ягодного сырья использовали рябину сортовую, желтую сливу и садовую черную смородину. Все субстраты были получены и переданы для исследований работниками МСХА имени К.А. Тимирязева.

Исследуемые ферментные препараты были получены путем котрансформации целевыми плазмидами с генами пектин-лиазы *P. canescens* (pelA), бета-глюкозидазы *A. niger* (bgIII) с трансформирующей плазмидой pSTA 10 ауксотрофного штамма-реципиента *P. verruculosum* 537. Процессы создания рекомбинантных штаммов и ферментных препаратов, их свойства, а также методы определения ферментативных активностей подробно описаны в работе [3]. Препараты представляли собой кремовый порошок (лиофилизат культуральной жидкости рекомбинантных штаммов плесневого гриба *P. verruculosum*), легко растворимый в воде. В таблице 1 приведены их основные характеристики.

Т а б л и ц а 1

Характеристики изучаемых мультиферментных комплексов*

Показатель	Ферментный препарат	
	ВІ_3-227.4	ВІ_3-227.7
Концентрация белка, мг/г препарата	854 ± 39,77	503 ± 33,60
Целлюлазная (МКЦ) активность, ед/г препарата	3346 ± 388,84	3194 ± 310,6
Целлюлазная (КМЦ) активность, ед/г препарата	170 ± 19,92	174 ± 14,90
β-глюкозидазная активность, ед/г препарата	3999 ± 388,11	395 ± 25,49
Пектинлиазная активность, ед/г препарата	2694 ± 388,38	1164 ± 113,2
Киланазная активность, ед/г препарата	3490 ± 288,28	5310 ± 334,9

* МКЦ — микрокристаллическая целлюлоза; КМЦ — карбоксиметил-целлюлоза.

Образцы фруктовых вин получали в лабораторных условиях по технологическим схемам, представленным в таблице 2. При изготовлении вин использовали препараты, наиболее эффективно проявившие себя в предварительных испытаниях с точки зрения повышения выхода сусла из мякоти [5].

Т а б л и ц а 2

Схемы изготовления фруктовых вин в лабораторных условиях

Рябина сортовая, сухой виноматериал		Черная смородина, слива, сладкие некрепленые виноматериалы	
Технологическая схема без стадии ферментативной обработки мезги	Технологическая схема, включающая в себя стадию ферментативной обработки мезги	Технологическая схема без стадии ферментативной обработки мезги	Технологическая схема, включающая в себя стадию ферментативной обработки мезги
1. Мойка сырья, сортировка		1. Мойка сырья, сортировка	
2. Дробление, внесение в мезгу воды с таким расчетом, чтобы концентрация титруемых кислот в конечном продукте составляла 5 г/дм ³		2. Дробление, внесение в мезгу воды с таким расчетом, чтобы концентрация титруемых кислот в конечном продукте составляла 6,8 г/дм ³	
3. Сульфитация мезги (K ₂ S ₂ O ₅ , «Мегахим», РФ) до 80 мг/дм ³		3. Сульфитация мезги (K ₂ S ₂ O ₅ , «Мегахим», РФ) до 80 мг/дм ³	
4. Мацерация мезги в течение 24 ч при 25°C	4. Мацерация мезги в присутствии ферментного препарата ВІ 3-227.7 (0,03% от массы мезги) в течение 24 ч при 25°C	4. Мацерация мезги в течение 24 ч при 50°C (для сливы), при 25°C (для черной смородины)	4. Мацерация мезги в присутствии ферментного препарата ВІ 3-227.4 (0,03% от массы мезги) в течение 24 ч при 50°C (для сливы), при 25°C (для черной смородины)
5. Прессование мезги (лабораторный механический пресс вместимостью 1,5 дм ³)		5. Прессование мезги (лабораторный механический пресс вместимостью 1,5 дм ³)	
6. Внесение в сусло сахара до 220 г/ дм ³ (сахарный сироп 80%), сульфитация сусла до 120 мг/дм ³		6. Внесение в сусло сахара до 220 г/дм ³ (сахарный сироп 80%), сульфитация сусла до 120 мг/дм ³	
7. Осветление отстаиванием (24 ч), отделение осадка		7. Осветление отстаиванием (24 ч), отделение осадка	
8. Сбраживание сусла до содержания в нем 15 г/ дм ³ сахара при 20°C. Внесение винных дрожжей «France universal» (произв. Франция) 500 г/625 дм ³ , внесение в сусло 0,6 г/дм ³ (NH ₄)H ₂ PO ₄ (Sigma, USA)		8. Сбраживание сусла до содержания в нем 15 г/ дм ³ сахара при 20°C. Внесение винных дрожжей «France universal» (произв. Франция) 500 г/625 дм ³ , внесение в сусло 0,6 г/дм ³ (NH ₄)H ₂ PO ₄ (Sigma, USA)	
9. Дображивание в течение 15 сут.		9. Внесение сахара (сахарный сироп 80%) до концентрации 150 г/ дм ³ , дображивание в течение 30 сут.	
10. Осветление отстаиванием (24 ч), отделение осадка		10. Осветление отстаиванием (24 ч), отделение осадка	
11. Фильтрация виноматериала (если требуется), хранение в закупоренных стеклянных бутылках при 4°C		11. Фильтрация виноматериала (если требуется), хранение в закупоренных стеклянных бутылках при 4°C	

Содержание взвесей в образцах сусла определяли гравиметрически, отделяя взвеси центрифугированием.

Содержание взвесей рассчитывали по формуле:

$$C = (m_2 - m_1) \cdot 100/V,$$

где m_2 — масса центрифужной пробирки с осадком взвесей, г; m_1 — масса пустой центрифужной пробирки, г; V — объем пробы, см³.

Для определения вязкости сусла образцы предварительно центрифугировали при 8000 об/мин. в течение 10 мин. Вискозиметр Оствальда термостатировали при 20°C, вносили 5 см³ анализируемого раствора и инкубировали 5 мин. Определяли время истечения раствора в двух повторностях.

Вязкость образцов сусла определяли, исходя из калибровочной кривой вискозиметра, построенной с использованием жидкостей с известной вязкостью.

Определение характеристик окраски вин проводилось спектрометрическим экспресс-методом по специальным формулам [6].

Физико-химические показатели образцов вин определяли в соответствии с государственными стандартами РФ [2]. Массовую концентрацию сахаров в виноматериалах определяли методом Шомоди-Нельсона [8]. Используемые в экспериментах реактивы были марки х.ч. и ч.д.а «ДиаМ», «Реахим», Helicon (Россия), Panreac (Испания).

Результаты и их обсуждение

В таблице 3 представлены результаты замеров выхода из плодовой мезги самотечных и прессовых фракций сусла в процессе изготовления вин. Показан выход сусла в дм³ в пересчете на 1 т сырья. Стоит также заметить, что в ходе эксперимента использовалась мезга, разбавленная водой, по причине чрезмерной кислотности субстратов.

Т а б л и ц а 3

Выход сусла из мезги в ходе изготовления фруктовых вин

Субстрат	Ферментный препарат	Выход самотечных фракций сусла из 1 т мезги, дм ³	Выход прессовых фракций сусла из 1 т мезги, дм ³	Общий выход сусла из 1 т мезги, дм ³
Рябина сортовая	ВІ 3-227.7	358*	414	772,1
	Без ф.п.	228,9	524,3	753,3
Слива	ВІ 3-227.4	710,9	147,7	858,6
	Без ф.п.	242,7	316,4	559
Черная смородина	ВІ 3-227.4	618,2	242,7	860,9
	Без ф.п.	545,5	275	820,5

* Здесь и далее доверительный интервал соответствует точности прибора: ± 5 дм³ ($0,005$ дм³ · 1000, где 1000 — поправочный коэффициент при пересчете на 1 т мезги).

Как видим из таблицы, использование ферментных препаратов в технологии приготовления фруктовых вин заметно увеличило выход самотечных, наиболее ценных фракций сусла. Общий выход сусла также возрос, но этот показатель сглажен большим выходом прессовых фракций из образцов мезги, не обработанной ферментными препаратами.

В таблице 4 представлены результаты, полученные в результате измерения относительной вязкости сусла из различных видов сырья и количества в нем взвесей.

Т а б л и ц а 4

Физические свойства полученного плодового сусла

Ферментный препарат, используемый в процессе настаивания сусла на мезге	Показатели самотечных фракций сусла		Показатели прессовых фракций сусла	
	вязкость сусла, сПз	массовая концентрация взвесей в сусле, г/100 см ³	вязкость сусла, сПз	массовая концентрация взвесей в сусле, г/100 см ³
<i>Рябина сортовая</i>				
ВІ 3-227.7	0,28 ± 0,021	1,03 ± 0,11	0,39 ± 0,031	2,03 ± 0,14
Без ф.п.	0,33 ± ,021	1,184 ± 0,12	0,46 ± 0,038	2,18 ± 0,15
<i>Слива желтая</i>				
ВІ 3-227.4	0,74 ± 0,035	1,93 ± 0,12	1,06 ± 0,1	2,93 ± 0,17
Без ф.п.	0,79 ± 0,041	2,17 ± 0,13	1,11 ± 0,13	3,17 ± 0,16
<i>Черная смородина</i>				
ВІ 3-227.4	0,31 ± 0,025	1,47 ± 0,12	0,43 ± 0,034	2,47 ± 0,19
Без ф.п.	0,38 ± 0,026	1,87 ± 0,13	0,53 ± 0,042	2,87 ± 0,15

Преимуществами ферментативной предобработки сырья относительно неферментированных образцов стали более низкая вязкость, объяснимая меньшим содержанием в сусле биополимеров, а также снижение концентрации взвесей в ферментированном сусле.

Выбранный для обработки черной смородины и сливы ферментный препарат ВІ 3-227.4 характерен выраженными β-глюкозидазной и пектин-лиазной активностями и позволяет добиться видимого разжижения богатых пектиновыми веществами субстратов (3–8% пектиновых веществ от массы сырого вещества) в короткий срок. Для ферментативной обработки рябины, содержащей комплекс целлюлозы и гемицеллюлоз, целесообразно использовать ферментный препарат ВІ 3-227.7, отличающийся набором соответствующих активностей, а также включающий в себя пектин-лиазу. Качественные характеристики полученных виноматериалов представлены в таблице 5.

По результатам физико-химической оценки образцов виноматериалов можно судить о целесообразности применения ферментных комплексов с точки зрения изменения качества получаемого продукта. Ферментированные вина обладают более

Физико-химические характеристики полученных фруктовых вин

Показатель	Образцы фруктовых вин					
	сухое вино, рябина сортовая		сладкое вино, слива желтая		сладкое вино, черная смородина	
	ВІ 3-227.7	Без ф.п.	ВІ 3-227.4	Без ф.п.	ВІ 3-227.4	Без ф.п.
Объемная доля этилового спирта, % об.	12,70 ± 0,40	12,70 ± 0,30	13,53 ± 0,30	13,50 ± 0,55	14,44 ± 0,30	14,40 ± 0,40
Массовая концентрация приведенного экстракта, г/дм ³	13,53 ± 1,03	13,53 ± 0,90	13,53 ± 0,80	13,57 ± 0,77	14,44 ± 0,69	14,45 ± 1,09
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	0,38 ± 0,07	0,37 ± 0,06	100 ± 3,1	101 ± 3,5	100 ± 2,80	101,5 ± 3,09
Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	5,33 ± 0,24	5,39 ± 0,29	6,63 ± 0,36	6,72 ± 0,29	7,80 ± 0,33	7,87 ± 0,36
Массовая концентрация летучих кис- лот в пересче- те на уксусную кислоту, г/дм ³	0,48 ± 0,013	0,55 ± 0,015	0,38 ± 0,012	0,43 ± 0,014	0,25 ± 0,010	0,34 ± 0,014
Общее содер- жание SO ₂ , мг/дм ³	100 ± 9,98	101,8 ± 9,50	113 ± 10,18	112,6 ± 9,67	116 ± 9,30	117 ± 11,50
Содержание свободного SO ₂ , мг/дм ³	44,2 ± 2,31	44,8 ± 2,66	67,8 ± 3,51	67,6 ± 3,20	69,6 ± 2,90	70,2 ± 2,88
Интенсив. цвета	1,967 ± 0,023	1,067 ± 0,025	0,179 ± 0,006	0,121 ± 0,003	6,283 ± 0,230	6,117 ± 0,220
Оттенок	0,83 ± 0,05	0,73 ± 0,05	2 ± 0,10	1,96 ± 0,09	0,93 ± 0,09	0,92 ± 0,09

насыщенным цветом; кроме того, в опытных образцах виноматериалов было зафиксировано незначительное снижение концентрации летучих кислот, предельное содержание которых в продукте строго регламентировано.

Увеличение интенсивности цвета образцов фруктовых вин, изготовленных по схемам, включающим в себя ферментативную обработку мезги, происходит благодаря мацерирующему эффекту мультиферментных комплексов.

Применение новых мультиферментных комплексов позволяет более полно раскрыть свойства, присущие различному плодovому и ягодному сырью. Образцы плодovых вин, полученных с помощью ферментных препаратов, обладали более ярким ароматом и полным насыщенным вкусом по сравнению с контрольными.

Выводы

В лабораторных условиях был изготовлен ряд образцов фруктовых вин, в технологию которых была включена стадия мацерации в присутствии новых ферментных препаратов, сочетающих в себе целлюлолитические, гемицеллюлолитические и пектинлиазную активности, соотношение которых определило их специфичность для используемого плодovого сырья. В результате удалось увеличить выход продукта из плодovого мезги и получить легкоосветляемые вина с меньшим содержанием летучих кислот и повышенной интенсивностью окраски. В ферментированном сусле было зафиксировано меньшее содержание взвесей по сравнению с контрольными образцами (без фермента), опытные образцы сусла отличались меньшей вязкостью. Ферментативная обработка мезги позволила улучшить органолептические характеристики плодovых вин.

Полученные в ходе проведенной работы данные говорят об эффективности использования мультиферментных комплексов нового поколения в технологии фруктовых вин.

Библиографический список

1. Агеева Н.М., Маркосов В.А. Влияние ферментных препаратов на состав ароматизующих компонентов в красных столовых винах // Журнал «Виноделие и Виноградарство». 2013. № 3. С. 19–22.
2. Ашапкин В.В. Контроль качества продукции физико-химическими методами. М.: ДеЛи принт. 2005. Т. 4. С. 85–95.
3. Бушина Е.В., Рожкова А.М., Зоров И.Н. и др. Создание комплексных ферментных препаратов пектиназ и целлюлаз для переработки свекловичного жома. // Журнал «Прикладная биохимия и микробиология». 2012. Т. 48. № 5. С. 543.
4. Волчок А.А., Бушина Е.В., Рожкова А.М., Зоров И.Н., Щербаков С.С., Сеницын А.П. Ферментные комплексы нового поколения для соковой промышленности // Журнал «Биотехнология». 2013. № 5. С. 78–89.
5. Волчок А.А., Рожкова А.М., Зоров И.Н., Щербаков С.С., Сеницын А.П., Бушина Е.В. Использование ферментных комплексов нового поколения для обработки различных плодovо-ягодных субстратов // Журнал «Виноделие и Виноградарство». 2012. № 1. С. 20–21.
6. Мехузла Н.А. Сборник международных методов анализа и оценки вин и сусел. М.: «Пищевая промышленность», 1993. 319 с.
7. Liew Abdullah A.G., Sulaiman N.M., Aroua M.K., Megat Mohd Noor M.J. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. Journal of Food Engineering. 2007. 81. P. 65–71.
8. Nelson N.J. Biol. Chem. 1944. 153. P. 375–379.
9. Ranveer Singh Jayani, Shivalika Saxena, Reena Gupta. Microbial pectinolytic enzymes: A review. Process Biochemistry. 2005. 40. P. 2931–2944.

THE USE OF NEW MULTI-ENZYME COMPLEXES IN THE PRODUCTION OF FRUIT WINES

A.A. VOLCHOK¹, A.M. ROZHKOVA¹, I.N. ZOROV¹,
S.S. SHCHERBAKOV³, A.P. SINITSYN^{1,2}

(¹ A.N. Bach Institute of Biochemistry, RAS; ² Lomonosov Moscow State University;
³ Russian Timiryazev State Agrarian University)

*This work presents the study results on the impact of new multi-enzymatic preparations on the final product quality when they are used in the production of the wort for fruit wines. The studied enzymes were developed during selection and gene engineering from micro-fungus *Penicillium verruculosum* which secretes efficient cellulosic complex.*

This article provides the main characteristics of multi-enzyme complexes and results of in-lab fruit-wine production with enzymatic agents use, which provides an opportunity for the use of the enzymes in the industrial-scale production. In the course of the experiment the yield of must, its relative viscosity and suspended particles content in fermented samples were registered. A number of physical and chemical parameters and color intensity characteristic of final beverage were recorded.

Obtained data clearly shows high efficiency of usage of new-generation enzymatic agents in fruit-wine industry.

*Key words: enzyme preparations, enzymatic treatment, *Penicillium verruculosum*, fruit-wines, wine making.*

Волчок Анастасия Александровна — асп., и. о. м. н. с. Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Института биохимии им. А.Н. Баха (119071, Москва, Ленинский проспект 33, стр. 2; тел.: (906) 783-17-44; e-mail: nanka-net@mail.ru).

Рожкова Александра Михайловна — к. х. н., ст. науч. сотр. Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Института биохимии им. А.Н. Баха (119071, Москва, Ленинский проспект 33, стр. 2; тел.: (910) 464-47-91; e-mail: amrojkova@yahoo.com).

Зоров Иван Никитич — к. х. н., ст. науч. сотр. Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Института биохимии им. А.Н. Баха (119071, Москва, Ленинский проспект 33, стр. 2; тел.: (903) 687-44-00; e-mail: inzorov@mail.ru).

Щербаков Сергей Сергеевич — д. т. н., проф. кафедры виноградарства и виноделия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, Тимирязевская 49; тел.: (910) 456-35-67; e-mail: sov06@yandex.ru).

Синицын Аркадий Пантелеймонович — д. х. н., зав. лабораторией биотехнологии ферментов Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Института биохимии им. А.Н. Баха (119071, Москва, Ленинский проспект 33, стр. 2); зав. лабораторией физико-химии ферментативной трансформации полимеров химического факультета, МГУ имени М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы 1/3; тел.: (916) 611-48-57; e-mail: apsinityn@gmail.com).

Volchok Anastasiya Alexandrovna — PhD-student, the acting researcher, A.N. Bach Institute of Biochemistry, RAS (119071, Moscow, Leninskiy prospect 33/2b, tel.: +7 (906) 783-17-44; e-mail: nanka-net@mail.ru).

Rozhkova Aleksandra Mikhailovna — PhD in Chemical Sciences, leading researcher, A.N. Bach Institute of Biochemistry, RAS (119071, Moscow, Leninskiy prospect 33/2b, tel.: +7 (910) 464-47-91; e-mail: amrojkova@yahoo.com).

Zorov Ivan Nikitich — PhD in Chemical Sciences, leading researcher, A.N. Bach Institute of Biochemistry, RAS (119071, Moscow, Leninskiy prospect 33/2b, tel.: +7 (903) 687-44-00; e-mail: inzorov@mail.ru).

Shcherbakov Sergey Sergeevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (910) 456-35-67; e-mail: sov06@yandex.ru).

Sinitsyn Arkadiy Panteleimonovich — Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Biotechnology, A.N. Bach Institute of Biochemistry, RAS (119071, Moscow, Leninskiy prospect 33/2b); Head of the Laboratory of Physics and Chemistry of Polymer Enzymic Transformation, The Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University (119991, Moscow, Leninskie Gory, 1/3; tel.: +7 (916) 611-48-57; e-mail: apsinitsyn@gmail.com).

УДК 378.663:631.563(06.091.5)

К 150-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ ХРАНЕНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И ТОВАРОВЕДЕНИЯ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

Н.М. ЛИЧКО, В.Н. КУРДИНА, Н.Н. НОВИКОВ, М.Ш. БЕГЕУЛОВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье приведена информация о развитии учебного процесса и научных школ на кафедре хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства. Описывается исторический период с момента основания Петровской земледельческой и лесной академии и открытия кафедры в 1865 г. и по настоящее время.

Ключевые слова: история кафедры, заведующие, учебная работа, научно-исследовательская, методическая работа, научные школы, материально-техническое обеспечение, учебники.

Кафедра существует с момента основания Петровской земледельческой и лесной академии — с 1865 г. В то время она называлась «Кафедра сельскохозяйственных и лесных производств», затем название менялось: в 1923–1929 гг. — «Кафедра сельскохозяйственной технологии», «Кафедра организации предприятий по переработке сельскохозяйственных продуктов», с 1930 по 2001 гг. — «Кафедра хранения и технологии сельскохозяйственных продуктов», с 2001 г. по настоящее время — «Кафедра хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства».

1 декабря 1865 г. заведующим кафедрой был избран профессор Харьковского университета, магистр технологии Ильдефонс Казимирович Коссов. При кафедре был создан технологический кабинет, на который было ассигновано 750 руб., остальным кабинетам — по 250 руб. Совет академии систематически выделял средства на пополнение технологического кабинета учебными материалами и оборудованием — по 500–600 руб. в год.

«Технология сельскохозяйственная и лесная» читалась в осенне-весенний и летний сезоны по 2 часа в неделю на 3 курсе, а практические занятия проводились в течение 3-х лет. В 1874 г. лекции были перенесены на 4 курс. Программа дисциплины «Технология сельскохозяйственная» включала в себя разделы: мукомольное производство и хлебопечение, винокуренное, маслобойное, пивоваренное, уксусное, свеклосахарное производство, приготовление крахмала и превращение его в декстрины и сахар. Профессор И.К. Коссов проводил экскурсии со студентами на винокуренный и сахароваренный заводы, паточные, уксусные, пивоваренные и лесопиль-

ные предприятия. Под его руководством изучались процессы превращения крахмала в декстрины и сахар, а также выяснялся механизм спиртового брожения. Первые результаты исследований были опубликованы в 1869 г. С 1 мая 1879 г. И.К. Коссов был освобожден от занимаемой должности по состоянию здоровья.

Конкурс на вакантную должность в 1879 г. не состоялся, поэтому курс в 1880 г. в академии не читался. В 1881 г. «Технологию лесных производств» читал профессор Турский, а «Технологию сельскохозяйственную» — магистр химии, титулярный советник экстра ординарный профессор Руднев Владимир Матвеевич. Практические занятия по технологии сельскохозяйственной не проводились из-за отсутствия кабинета, помещение которого было занято для проведения практических занятий по почвоведению. Вместо практики студенты 3 курса посетили сахарорафинадный и пивоваренный заводы, а студенты 4 курса были на экскурсии на свеклосахарном заводе Тульской губернии. В 1885 г. профессор В.М. Руднев принял технологический кабинет, и начались практические занятия. В 1887–1888 гг. он читал сельскохозяйственную технологию по 3 лекции в неделю, практические занятия проводил в форме демонстрационных лекций по технологическому анализу заводских сырьевых материалов и готовых продуктов, а также экскурсий на торфяные болота в Орехово-Зуево, сахарорафинадный завод Московского Трехгорного Товарищества, пивоваренный и свеклосахарный заводы в городе Богородицке Тульской губернии.

Профессор В.М. Руднев продолжил исследования И.К. Коссова по переработке крахмала. В 1886 г. были опубликованы его статьи о сельскохозяйственном винокурении, о химической природе торфа, о новом углеводороде из сосновой смолы, также написан ряд материалов по химической технологии для издания в энциклопедическом словаре Брокгаузен и Эфрона. Академию он покинул в конце 1893 г.

С 1895 по 1913 гг. кафедру технологии сельскохозяйственных и лесных производств возглавлял академик, экстраординарный профессор Яков Яковлевич Никитинский, который читал «Технологию сельскохозяйственную» по 3 часа в неделю оба полугодия на 3 курсе. При чтении лекций он демонстрировал коллекции кабинета чертежами и сочетал это с проведением опытов; проводил экскурсии студентов на пивоваренный завод Трехгорного Товарищества, дрожжево-винокуренный завод братьев Афремовых и пивоваренный завод Корнеева, Горшанова, где они знакомились с технологией производства пива, выращивания солода и чистой культуры дрожжей. Особое внимание студентов Я.Я. Никитинский обращал на оценку качества сырьевых материалов и на утилизацию отходов.

В 1904 г. технологический кабинет был переведен из главного здания института в здание 9 корпуса, в заднюю часть нижнего этажа с подвальными помещениями. В 1907 г. на кафедру технологии был принят специалист по виноделию Михаил Александрович Ховренко, который читал курс виноделия по 2 часа в неделю. С 30 июня 1914 г. М.А. Ховренко избран Советом института и назначен Высочайшим приказом адъюнкт-профессором по кафедре технологии Московского СХИ.

Следует отметить, что вопросы хранения сельскохозяйственных продуктов в те годы входили в программу курса растениеводства. В отчете за 1914 г. о состоянии академии зафиксировано, что В.А. Харченко вел со студентами беседы по следующим вопросам: уборка хлебов, молотье и сортирование зерна; сохранение зерна; уборка и сохранение корнеплодов; уборка и сохранение картофеля; уборка и сохранение кормов.

Профессор Я.Я. Никитинский руководил кафедрой до 1915 г. Он значительно усовершенствовал учебный процесс и создал научную школу технологов по пере-

работке сельскохозяйственного сырья. Его статьи опубликованы в журнале «Технический сборник и вестник промышленности» по технике брожения сахаров, производству клещевинного масла, свертыванию растворимого крахмала, по результатам физико-химических исследований ячменя и соложенного зерна и др. В 1896 г. вышла в свет его книга «Отбросы крахмального производства. Их использование и обезвреживание», в 1905 г. — монография «Денатурированный спирт и его применение». Хорошо известны были также специалистам-технологам того времени работы Я.Я. Никитинского по методам брожения и определению летучих кислот в вине, методам брожения продуктов картофельной патоки, которые опубликованы в журналах «Технический сборник» и «Вестник промышленности».

Разработанные профессором Я.Я. Никитинским принципы хранения сельскохозяйственной продукции, проведенная систематизация способов хранения не потеряли своего значения в настоящее время и лежат в основе современной теории и практики хранения. Под его редакцией в 1906-1908 годах вышел учебник по товароведению «Руководство по товароведению с необходимыми сведениями из технологии», в котором рассматривались строение, состав, свойства и технология переработки сырья и материалов, используемых в промышленном производстве.

После Октябрьской революции в 1917 г. Московский сельскохозяйственный институт продолжал работать, но под другим названием — Петровская сельскохозяйственная академия. В 1919 г. в академии было открыто садовое отделение с 4 кафедрами: плодоводство, огородничество и техническая переработка плодов и овощей. В 1920 г. на вновь открытую кафедру по технической переработке плодов и овощей был избран профессор Ф.В. Церевитинов. Через некоторое время кафедра получила название «Химия и технология плодов и овощей». Курс технологии сельскохозяйственной на агрономическом факультете продолжал читать М.А. Ховренко до 1922 г., когда он оставил академию.

В 1923 г. на вновь открытом в академии экономическом факультете были созданы три кафедры: организации сельского хозяйства, сельскохозяйственной кооперации и сельскохозяйственной технологии. Таким образом, в академии были две кафедры технологии: одна на плодоовощном факультете, другая — на экономическом. Курс лекций по сельскохозяйственной технологии на экономическом и агрономическом факультетах на 3 году обучения с 1922 по 1925 гг. читал преподаватель Георгий Давидович Канеман.

В 1925 г. заведующим кафедрой «Организации предприятий по переработке сельскохозяйственных продуктов» был утвержден Владимир Васильевич Тугаринов. Первые 4 года он сочетал учебную работу на кафедре с административной: был председателем Комитета военно-хозяйственного снабжения РККА и председателем бюро по стандартизации. В 1929 г. он был утвержден в должности доцента, а в 1930 г. профессором по этой кафедре. За 1925–1930 гг. опубликованы в соавторстве его 60 проектов общесоюзных стандартов на хлеб пшеничный и ржаной, сухари, соль поваренную, сушеные овощи, консервированное молоко и т.д.; опубликована в соавторстве «Инструкция по хранению плодоовощных продуктов и фуража в военно-продовольственных базах и складах РККА».

Новые научные направления были открыты на кафедре профессором В.В. Тугариновым после введения в 1930 г. в учебный план кафедры курса «Технология хранения сельскохозяйственных продуктов», а кафедра получила название «Хранения и технологии сельскохозяйственных продуктов». С этого времени она была включена в состав агрономического факультета, для нее были выделены две лаборатории

по 50 м² в корпусе 37. Преподавателями кафедры работали В.А. Туркин, М.А. Гусев и В.В. Головащенко. Под руководством В.В. Тугаринова коллектив кафедры подготовил учебное пособие «Лабораторно-практические занятия по технологии сельскохозяйственных продуктов».

В связи с коллективизацией в стране возникает много проблем с хранением больших масс зерна, поэтому научные исследования кафедры были посвящены новым методам хранения зерна, значению температуры при хранении, сушке зерна, влиянию процессов самосогревания зерна на продукты его переработки. В 1940 г. В.В. Тугаринов, обобщив научно-исследовательскую работу кафедры, подготовил учебник с грифом ВКВШ для мукомольных и элеваторных вузов «Хранение зерна».

В первые два года Великой Отечественной войны академия была эвакуирована в Самарканд, но уже в 1943 г. возобновились занятия, в том числе и на кафедре. Много сил и энергии профессор В.В. Тугаринов отдавал в послевоенные годы решению проблем конденсации водяных паров из воздуха. В 1946 г. профессору В.В. Тугаринову присуждена степень доктора сельскохозяйственных наук. Он проработал на кафедре 26 лет, возглавляя ее до 1951 г., когда вышел на пенсию.

В 1951 г. избран по конкурсу на должность заведующего кафедрой хранения и технологии сельскохозяйственных продуктов сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (ТСХА) профессор, доктор технических наук Лев Алексеевич Трисвятский (на 0,5 ставки, так как совмещал с должностью директора «Высшей заготовительной школы» Министерства заготовок СССР). С 1960 по 1963 гг. он не только осуществлял руководство кафедрой, но и возглавлял организованный в академии заочный факультет. 31 октября 1963 г. профессор Л.А. Трисвятский был освобожден от обязанностей декана заочного факультета и назначен директором Всесоюзного научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ), которым руководил 19 лет (до 1982 г.), совмещая с работой на кафедре.

Курс «Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов» преподавался на агрономическом, агрохимическом и экономическом факультетах. Лекции читали профессор Л.А. Трисвятский, доценты Ю.С. Ралль и В.Н. Курдина. Типовая программа курса, изданная в 1975 г., включала в себя введение и 14 разделов, а именно: 1. Основы стандартизации. 2. Требования, предъявляемые государством к качеству зерна. 3. Общие принципы хранения и консервирования сельскохозяйственных продуктов. 4. Теория и практика хранения семенного зерна и продовольственно-фуражных фондов. 5. Основы переработки зерна и маслосемян (производство муки, крупы, печеного хлеба, растительных масел). 6. Хранение картофеля, овощей, плодов и ягод. 7. Основы переработки картофеля, овощей, плодов и ягод; 8. Хранение и переработка сахарной свеклы. 9. Основы производства комбикормов. 10. Хранение и основы первичной обработки растительных волокон. 11. Первичная обработка и хранение хмеля. 12. Первичная обработка табака и махорки. 13. Основы производства чая. 14. Заготовка и переработка эфиромасличных культур (разделы 11–14 в академии не читались). В программе приведен список лабораторно-практических работ (23 работы), а также вопросы, которые должны быть изучены студентами в период учебно-производственной практики. По этой программе работали все сельскохозяйственные вузы страны, которые в зависимости от места расположения, наличия лабораторной базы вносили соответствующие изменения и дополнения. Программой предусмотрено проведение экскурсий со студентами на предприятия, перерабатывающие сельскохозяйственное сырье растительного происхождения.

Возглавляемая Л.А. Трисвятским кафедра хранения и технологии сельскохозяйственных продуктов ТСХА стала методическим центром повышения квалификации преподавателей по курсу хранения и переработки сельскохозяйственных продуктов. Осенью 1965 г. кафедра провела Всесоюзный семинар преподавателей, читающих курс «Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов». На кафедре ежегодно в течение 3-х мес. повышали квалификацию от 10 до 20 преподавателей, а также в течение 1 мес. — специалисты-технологи, работающие в технологических лабораториях НИИ. К занятиям с преподавателями и научными сотрудниками привлекали ученых ВНИИЗа, Госстандарта, МТИППа, ВЦОКСа, НПО «Подмосковье». Со слушателями ФПК проводили выездные занятия на Комбинат хлебопродуктов имени 60-летия СССР, хлебозавод № 22, ВДНХ, ВНИИЗ, НПО «Подмосковье», ВЦОКС и др., где они знакомились с самыми передовыми технологиями переработки зерна и с современными методами оценки качества зерна и приборами.

Профессор Л.А. Трисвятский внес огромный вклад в достижение нашей страной высокого международного статуса в системе исследований по хранению и технологии зерна. В 60-е гг. коллектив кафедры принимал участие в работе по линии международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству ФАО ООН, проводя курсы повышения квалификации специалистов по хранению и борьбе с потерями зерна и продуктов его переработки, куда съезжались специалисты со всего мира.

Значительный период в научно-организационной деятельности Л.А. Трисвятского связан с Международным обществом по науке и технологии зерна (ИСС). Это общество было основано в 1955 г. по предложению нескольких стран — крупнейших производителей зерна — включая СССР. С 1964 по 1984 гг. Л.А. Трисвятский был членом исполкома ИСС, с 1969 по 1971 гг. — его президентом. В 1992 г. он был избран почетным президентом ИСС.

На кафедре под руководством профессора Л.А. Трисвятского была продолжена и значительно расширена тематика научно-исследовательской работы. С 1960 г. на кафедре работала научно-исследовательская группа (по хоздоговору) по изучению и установлению норм естественной убыли семян овощных культур, успешно закончив разработкой норм естественной убыли, отчетом по теме заказчика и инструкцией по хранению семян. Активно работали аспиранты, тематика была весьма разнообразной: изучали особенности зерна и семян многих культур как объектов хранения, что позволило разработать режимы их хранения; на базе опытов кафедры земледелия и МОД проводились исследования по изучению влияния различных приемов окультуривания почвы на урожайность и технологические свойства зерна озимой ржи. Большое внимание уделялось совершенствованию послеуборочной обработки зерна, новым приемам обеззараживания зерна и средствам его дезинсекции, путям сокращения потерь сахара при хранении и погрузках корней сахарной свеклы. На кафедре обучались и защитили диссертации 7 аспирантов-иностранцев, которые изучали режимы хранения пшеницы, риса, сорго применительно к условиям своих государств. Под руководством Л.А. Трисвятского подготовлено 33 кандидата и доктор наук, многие из которых в дальнейшем сами создали собственные научные школы.

Научные разработки кафедры были опубликованы в виде статей, рекомендаций, монографий, вошли в учебники. Л.А. Трисвятским при соавторстве с сотрудниками кафедры написан учебник «Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов» для студентов сельскохозяйственных вузов, переизданный четырежды,

а для студентов техникумов системы заготовок — учебник «Товароведение зерна и продуктов его переработки» (3 издания), «Практикум по хранению и переработке сельскохозяйственных продуктов. Общее количество печатных работ Льва Алексеевича составило свыше 300.

За многолетнюю научную, трудовую работу и за подготовку высококвалифицированных специалистов Л.А. Трисвятский награжден орденами Ленина, Октябрьской революции, Отечественной войны II степени, Трудового Красного Знамени, Дружбы народов. В 1978 г. на 6-м Всемирном конгрессе по зерну и хлебу в Канаде впервые советскому ученому Л.А. Трисвятскому была вручена Золотая медаль имени Клайда Ч. Бейли — крупнейшего американского биохимика, основателя курса биохимии зерна в западном полушарии. В 1982 г. на 7 Всемирном конгрессе по зерну и хлебу профессор Л.А. Трисвятский награжден Золотой медалью Чехословацкой академии сельскохозяйственных наук.

Наряду с Л.А. Трисвятским значительный вклад в учебный процесс и разработку научных проблем по хранению растительных продуктов внесли и другие сотрудники кафедры. Длительное время с ним трудились Юлия Сергеевна Ралль (с 1951 по 1971 гг.) Вера Николаевна Курдина (с 1957 по 2000 гг.), Мария Ивановна Ефимова (с 1962 по 1981 гг.), Борис Александрович Карпов (1971–1986 гг.), Нина Михайловна Личко (с 1977 г.) Следует особо отметить научную деятельность Б.А. Карпова, который свыше 20 лет работал над проблемами совершенствования послеуборочной обработки и хранения зерна продовольственного и семенного назначения. Он является автором учебного пособия для средних профессионально-технических училищ «Технология послеуборочной обработки и хранения зерна» (М.: Агропромиздат, 1987). По этой проблеме опубликованы 76 его работ, монография, защищена докторская диссертация. Его работы дважды экспонировались на ВДНХ и отмечены медалью, результаты широко внедрялись в производство, использовались в учебном процессе. В январе 1986 г. Б.А. Карпов получил звание профессора. К сожалению, в том же году жизнь его оборвалась ввиду тяжелой болезни в возрасте 54 лет.

Л.А. Трисвятский руководил кафедрой до 1988 г., т.е. 37 лет. С 1988 по 1996 гг. Лев Алексеевич работал на кафедре профессором-консультантом, с 1996 г. находился на заслуженном отдыхе, но поддерживал тесный контакт с кафедрой.

С 1988 по 1997 гг. кафедрой руководила ученица Л.А. Трисвятского Нина Михайловна Личко, которая прошла путь от аспиранта кафедры до профессора. В эти годы (1988–1997 гг.) на кафедре проводилась большая работа по совершенствованию учебного процесса и улучшению материальной базы кафедры, что было велением времени. В связи с перестройкой производственных отношений в агропромышленном комплексе, переходом на рыночные отношения сельскому хозяйству нужны были особенно грамотные специалисты, которые бы умели не только вырастить высококачественную продукцию с учетом ее целевого назначения, но и с выгодой для хозяйства реализовать ее, обеспечить сохранность и переработку продукции на местах производства.

Все проблемы, которыми занималась кафедра, а именно: повышение качества продукции растениеводства, сокращение потерь и ее переработка в местах производства, — приобрели особую актуальность. По просьбе кафедры в новых учебных планах было существенно увеличено число часов на чтение курса. Вместо одной дисциплины стали читать три: «Стандартизация и управление качеством продукции растениеводства», «Технология хранения и переработки продукции растениеводства»,

«Переработка плодов и овощей». В 1990–1991 уч. году для студентов экономического факультета была впервые введена курсовая работа по курсу хранения и переработки продукции растениеводства, а в 1992–1993 гг. — и для студентов агрономического факультета.

В июне 1994 г. на агрономическом факультете в рамках специальности «Агрономия» была открыта специализация по хранению и переработке продукции растениеводства и был произведен первый набор студентов (18-я группа — 28 студентов). Целью такой специализации была адаптация выпускников к рыночным отношениям в сфере сельского хозяйства, освоение профессиональных навыков, связанных не только с выращиванием сельскохозяйственных культур, но и с умением обеспечить высокое качество и сохранность получаемой продукции, а также экономически обособить и организовать ее переработку и реализацию.

В 1988–1989 гг. было введено практическое обучение студентов по хранению и переработке. Экономическим факультетом было выделено на проведение учебной практики 18 час. на группу, а на агрономическом — 24 час. Учебная практика со студентами 2-го курса агрономического факультета проходила на базе учхоза «Михайловское». Основное внимание уделялось изучению технологии послеуборочной обработки продукции растениеводства, подготовке токового хозяйства и хранилищ к приему нового урожая. Но, к сожалению, в 1993–1994 уч. году учебная практика со студентами 2 курса агрономического факультета была отменена, так как курс «Хранение и переработка продукции растениеводства» читался на 4–5 курсах.

Фактическая учебная нагрузка на кафедре в связи с переходом на новые учебные планы выросла с 3124 до 8040 час.; профессорско-преподавательский штат кафедры с 3,5 ед. был увеличен до 8,5 ед. Увеличение учебной нагрузки потребовало большой методической работы, но прежде всего нужно было решить кадровый вопрос, и в этом отношении кафедра пережила тяжелейший кризис: в 1986–1987 гг. вместо 4-х преподавателей осталось двое (профессор Л.А. Трисвятский на 0,5 ставки и доцент Н.М. Личко). В сентябре 1986 г. преждевременно ушел из жизни Б.А. Карпов, по семейным обстоятельствам оставил кафедру ассистент А.М. Агапкин. Но кафедра выжила: к 1990 г. штат кафедры был полностью укомплектован. Здесь работали профессор Трисвятский на 0,5 ставки, зав. кафедрой Н.М. Личко, двое доцентов (В.Н. Курдина, Л.Г. Елисеева), трое старших преподавателей (Н.А. Попов, Н.Н. Пермякова, И.П. Лаврик), двое ассистентов (А.Г. Мякинников, Т.И. Поморцева).

Все преподаватели систематически повышали свою квалификацию, освоили курсы лекций для отдельных потоков, все лабораторно-практические занятия. Доцент Л.Г. Елисеева в 1993 г. была на стажировке в США в Институте по послеуборочной доработке растениеводческой продукции при Университете штата Айдахо. С 1990 по 1997 гг. происходил значительный научно-педагогический рост кадров. В 1990 г. прошел по конкурсу на должность доцента Н.А. Попов, в 1995 — А.Г. Мякинников, в 1996 г. — Н.Н. Пермякова, в 1997 г. — И.П. Лаврик и Т.И. Поморцева. В 1996 г. было присвоено звание профессора по кафедре технологии хранения и переработки сельскохозяйственных продуктов зав. кафедрой Н.М. Личко. Кафедра проводила занятия на 3-х факультетах: агрономическом (4 и 5 курсы, 14–18 академических групп), экономическом (8–9 академических групп), агрохимическом (4–5 академических групп). Всего обучали 33 академические группы, а также до 1994 г. повышали квалификацию преподаватели по курсам стандартизации, хранению и технологи-специалисты по оценке качества зерна. На кафедре ежегодно занимались более 600 студентов и слушателей ФПК.

Переход на новые учебные планы, введение курсового проектирования и специализации потребовали от преподавательского коллектива больших усилий по методической работе. Был обобщен опыт курсового проектирования в других вузах и изданы методические указания по курсовому проектированию. Совершенствовался и расширялся лекционный материал по трем дисциплинам, отрабатывался лабораторный практикум. В 1993–1995 гг. проводились постоянные семинары преподавателей по методике преподавания лабораторных занятий. Результатом этой работы являются изданные методические указания для лабораторно-практических занятий по двум курсам: стандартизации и сертификации продукции растениеводства и хранению и переработке с элементами курсового проектирования и решениями производственных ситуаций. Кроме изданных методических указаний, студентам выдаются на практических занятиях стандарты и к 13 работам дополнительные методические пособия.

В 1990 и 1993 гг. опубликованы типовые программы по стандартизации и сертификации, хранению и переработке продукции растениеводства, по которым работали все сельскохозяйственные вузы. С 1994 г. на кафедре ведется подготовка дипломников по специализации «Хранение и переработка продукции растениеводства». С 1988 по 1995 гг. коллективом кафедры были изданы следующие учебники и учебные пособия: Личко Н.М. Основы стандартизации продукции растениеводства: Учебное пособие для вузов. М.: Агропромиздат, 1988; Личко Н.М., Колесниченко Н.С., Петровская В.А. и др. Курсовое проектирование по хранению и переработке продукции растениеводства: Методические указания. М.: Изд-во ТСХА. 1990; Трисвятский Л.А., Лесик Б.В., Курдина В.Н. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов. М.: Агропромиздат, 1991 (4-е изд.); Трисвятский Л.А., Шатилов И.С. Товароведение зерна и продуктов его переработки. М.: Колос, 1992 (3-е изд.); Курдина В.Н., Личко Н.М. Практикум по хранению и переработке сельскохозяйственных продуктов. М.: Колос, 1992; Личко Н.М. Стандартизация зерновых, зернобобовых и масличных культур. М.: Издательство МСХА, 1995.

Необходимо отметить работу, которую кафедра проводила по новой специальности 270200 «Переработка продукции растениеводства», введенной в сельскохозяйственные вузы в 1992 г. Коллективом кафедры была составлена и опубликована программа курса «Технология хранения растениеводческой продукции». Под руководством и редакцией Н.М. Личко подготовлен учебник «Технология переработки продукции растениеводства».

За годы руководства кафедрой Н.М. Личко была существенно укреплена материальная база кафедры, которая в 1993–1996 гг. остро испытывала недостаток в помещениях. Для обучения студентов по специализации необходимо было создать специализированные лаборатории. В 1996 г. кафедре были выделены дополнительные помещения в 14 учебном корпусе, где были оборудованы лаборатории: мукомольная и крупяная, хлебопечения, лаборатория по оценке качества льна и две учебные лаборатории. Кафедра значительно пополнилась оборудованием и мебелью. В 1990 г. приобретена лаборатория ЛМК 113, укомплектованная всем необходимым оборудованием по оценке качества зерна; в 1994 г. приобретены еще 20 приборов, необходимых для учебной и научной работы, мельница У1-РСА-2, лабораторная тестомесилка У1-ЕТЛ. Совместно со столовой в 1995 г. была создана минипекарня, на базе которой студенты по специализации проходили практику.

В 1996 г. материально-техническая база кафедры пополнилась за счет спонсорской помощи. Приобретены зерноочистительный агрегат У1-АО3-6, пекарский

шкаф ШПЭСМ, тестомесилка У1-ЕТВ, масляный пресс, установка для определения развариваемости крупы, вальцедековый станок, сепаратор Петкус, триер Петкус и др. Новой мебелью оборудованы технологическая, биохимическая, мукомольная, и частично — учебные лаборатории.

Сотрудники кафедры проводили большую работу по обновлению учебного табличного фонда. Приобретены комплекты таблиц по послеуборочной обработке зерна, хранению картофеля, вредителям хлебных запасов, 66 типовых проектов по послеуборочной обработке картофеля (КСП-25Б), зерна (КЗС-50Ш), а также зерно- и семенохранилищ, картофеле-, овоще- и плодохранилищ, цехов по переработке и консервных заводов; вновь подготовлено свыше 200 таблиц.

Для обеспечения лабораторного практикума студентов, нужд аспирантов и научных сотрудников на кафедре создан фонд нормативных документов, который постоянно пополняется. В библиотеке стандартов на 1 января 1995 г. действующих стандартов было свыше 1500 наименований (около 10000 экз.), 274 сборника стандартов.

Кафедра работала в постоянном контакте с ведущими организациями и учреждениями страны: НПО «Зернопродукт», НПО «Подмосковье», НПО «Хранение», ВЦОКС, ВИУА, ЦИНАО, ВНИИС, Московской академией пищевых производств (МТИПП), Российской экономической академией им. Плеханова, Российско-американским концерном «Российский картофель», НИИ консервной и овощесушильной промышленности и др., а также поддерживала тесную связь с производством. В 1992–1993 гг. по желанию студентов проводились выездные занятия по курсу «Переработка плодов и овощей» на Бауманском ОРПО (цех переработки малого предприятия «МИХМ») и на совместном советско-американо-бельгийском предприятии «Вита коммерц». Сотрудники кафедры Н.Н. Пермякова и Н.А. Ткач помогали хозяйствам Московской области в предварительной оценке качества зерна пшеницы. При участии специалистов кафедры Л.Г. Елисеевой проводилась реконструкция картофелехранилища в хозяйстве «Орловский» Московской области.

Доцент Л.Г. Елисеева в апреле 1993 г. проводила занятия по технологии хранения картофеля на семинаре картофелеводов Тульской области. Она являлась экспертом концерна «Российский картофель» по вопросам хранения картофеля и принимала непосредственное участие в организации строительства картофелехранилища нового типа совместно с американской фирмой «Глобал стил». Связь кафедры с научно-исследовательскими учреждениями, производством позволяет получать самую новую научную информацию, которая используется в лекционном материале.

В 1988–1997 гг. на кафедре продолжались научные исследования, заложенные школами Я.Я. Никитинского, В.В. Тугаринова, Л.А. Трисвятского. Работа проводилась по госбюджетной и хоздоговорной тематикам по 2-м направлениям:

1. Изучение закономерностей формирования высококачественной продукции растениеводства в центральном районе РФ.
2. Совершенствование режимов и способов хранения продукции растениеводства с целью сокращения потерь.

Совместно с кафедрой тракторов под руководством профессора Р.Ш. Хабатова кафедра принимала участие в разработке и технико-экономическом обосновании комплекса машин для индустриальных способов уборки. Сотрудники кафедры Н.М. Личко, Н.А. Попов, А.Г. Мякинков изучали потери зерна при разных способах уборки, влияние уборочной влажности и способов уборки на качество семян пшеницы, ячменя, гороха.

Под руководством Н.М. Личко продолжала работать научно-исследовательская группа из 6 сотрудников по изучению закономерностей формирования потребительских свойств зерна озимой пшеницы в условиях ЦРНЗ. Материалом для исследований служили пробы зерна озимой пшеницы, выращенной в производственных условиях Московской области и в опытах кафедр земледелия и методики опытного дела, растениеводства, в которых изучалось влияние различных агротехнических приемов на качество зерна, а именно: степени окультуренности почвы, разных способов обработки почвы, удобрений, систем защиты растений. Проведенные многолетние исследования убедительно доказывают, что в условиях ЦРНЗ на хорошо и среднеокультуренных почвах при соблюдении технологии возделывания можно получать высокие урожаи зерна (свыше 6–7 т/га), пригодного для хлебопечения без улучшителей.

Совместно с кафедрой земледелия под руководством В.Г. Лошакова и Н.М. Личко была выполнена работа и защищена диссертация на тему «Влияние зеленого удобрения на урожайность и технологические свойства зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зерновых севооборотах Центрального района Нечерноземной зоны (Бегеулов М.Ш.). Проводились исследования по научному обоснованию режимов и способов хранения семян нетрадиционных кормовых культур (Лаврик И.П.), семян ярового рапса (Поморцева Т.И.). По хозяйственной тематике с Министерством сельского хозяйства были изучены биохимические и морфологические особенности миниклубней картофеля, выращенных на гидропонике. Разработаны рекомендации по режимам их хранения (Личко Н.М., Елисеева Л.Г., Латушкин В.В.).

В 1991–1996 гг. изучали продуктивность, потребительские свойства и лежкоспособность картофеля в зависимости от применяемых удобрений, систем защиты растений, уровня окультуренности почвы, репродукции посадочного материала, иммуностимуляторов (Личко Н.М., Латушкин В.В., Елисеева Л.Г., Мякинников А.Г.), а также пригодность новых и перспективных сортов картофеля отечественной и зарубежной селекции к переработке на крахмал, хрустящий и сушеный картофель; разработаны оптимальные режимы хранения клубней картофеля, предназначенных для переработки (Барри О.В.). По результатам этих исследований под руководством Н.М. Личко защитили диссертации И.П. Лаврик, В.В. Латушкин, Т.И. Поморцева, О.В. Барри.

С 1996 г. кафедра работает совместно с профессором Г.И. Ваулиной (ВНИИА) по программе НИР РАСХН № 0.2.03.02 «Разработать безопасные элементы комплексного применения удобрений, мелиорантов, химических средств защиты растений, регуляторов роста и биопрепаратов в адаптивно-ландшафтном земледелии с целью увеличения продуктивности растений и окупаемости удобрений».

В 1997 г. Н.М. Личко по собственному желанию была освобождена от обязанности зав. кафедрой и переведена на должность профессора. В 1997 г. она была награждена медалью «В память 850-летия Москвы», в 2000 г. — нагрудным знаком «Почетный работник высшего образования России». В 1997 г. на должность заведующего кафедрой «Хранения и технологии сельскохозяйственных продуктов» был назначен доктор биологических наук, профессор Новиков Николай Николаевич, который к этому времени выполнил научные разработки по биохимическим основам формирования качества растительной продукции и технологических свойств зерна злаковых культур.

С 1997 г. на кафедре было начато изучение дисциплин по открытой ранее специализации «Хранение и переработка продукции растениеводства» студентами

38 группы агрономического факультета. Программа специализации включала в себя изучение следующих учебных дисциплин: «Технология хранения продукции растениеводства», «Технология переработки зерна и продукции технических культур», «Технология переработки плодов и овощей». После 3 курса для студентов группы специализации была организована учебная практика на экспериментальных базах кафедры, ВНИИ зерна, ВЦОКСа. Производственная практика этих студентов (после 4 курса) проходила на элеваторах, мукомольно-хлебопекарных предприятиях, в цехах по производству растительного масла, пива, продуктов переработки кукурузы и картофеля. Первый выпуск студентов группы специализации состоялся в 1999 г. и показал высокий уровень их профессиональной подготовки, что позволило большинству из них получить работу по профилю подготовки.

В этот период преподавателями кафедры по заданию Учебно-методического объединения вузов Российской Федерации по агрономическому образованию были пересмотрены примерные программы по учебным дисциплинам «Технология хранения и переработки продукции растениеводства», «Стандартизация и сертификация продукции растениеводства», «Технология переработки продукции растениеводства», «Технология хранения продукции растениеводства». В 2000 г. под руководством и редакцией проф. Н.М. Личко было выпущено первое издание учебника для вузов «Технология переработки продукции растениеводства (М.: КолосС), что подтверждало важную роль кафедры в системе аграрного образования страны как центра подготовки специалистов по технологии хранения и переработки продукции растениеводства. На кафедре ежегодно проходили стажировку преподаватели других аграрных вузов России.

В 2001 г. было принято решение уточнить название кафедры — «Кафедра хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства». В 2004 г. кафедра вошла в состав нового факультета, получившего название «Технологический факультет», и в последующие 4 года профессор Н.Н. Новиков одновременно выполнял обязанности декана технологического факультета и заведующего кафедрой. Кафедра стала выпускающей по специальности «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции». Студенты технологического факультета на кафедре изучали учебные дисциплины «Технология хранения, переработки и стандартизация продукции растениеводства», «Основы биотехнологии переработки сельскохозяйственной продукции», «Технология переработки продукции зернобобовых культур», «Биохимия», «Биохимия растительных продуктов». Кроме того, для студентов вновь созданного учетно-финансового факультета преподавались дисциплины «Технология хранения и переработки продукции растениеводства» и «Технологические основы производства и переработки продукции растениеводства».

В 2005 г. на технологическом факультете была начата подготовка студентов по направлению «Технология продуктов питания», а в 2006 г. — по специальности «Технология субтропических и пищевкусных продуктов», в учебных планах которых содержались дисциплины «Биохимия», «Пищевая химия», «Физиология питания», «Химия субтропических продуктов». Преподавание дисциплин биохимического профиля до 2009 г. осуществлялось на кафедре под руководством профессора Н.Н. Новикова, который разработал по ним рабочие программы и читал курсы лекций. Лабораторно-практические занятия по этим дисциплинам проводили доценты Л.Э. Гунар, Т.В. Таразанова, Н.В. Лаврова, Л.Д. Волкова. В 2007 г. профессором Н.Н. Новиковым была подготовлена документация и вышел приказ Министерства науки и образования РФ на открытие в Российском государственном аграрном универ-

ситете — МСХА имени К.А. Тимирязева подготовки выпускников по специальности «Товароведение и экспертиза продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья».

Большая работа выполнена преподавателями кафедры в 2007–2008 гг. в рамках реализации Инновационного государственного проекта. Профессором Н.Н. Новиковым была разработана ООП ВПО подготовки магистров «Технология хранения и переработки пищевых растительных продуктов» по направлению подготовки «Технология продуктов питания». По этой магистерской программе преподавателями кафедры были разработаны учебно-методические комплексы дисциплин «Биохимия растительных продуктов» (проф. Н.Н. Новиков), «Товароведение зерна и зернопродуктов» (проф. Н.М. Личко), «Разработка продуктов питания» (проф. А.Т. Васюкова), «Технология хлебопекарного и макаронного производства» (доц. Н.Н. Пермякова, проф. Н.М. Личко), «Технология хранения зерна и зернопродуктов» (доц. Т.И. Поморцева, доц. М.Ш. Бегеулов), «Технология бродильных производств» (доц. А.Г. Мякинчиков), «Технология мукомольного и крупяного производства» (доц. Н.А. Попов), «Технология хранения и переработки картофеля» (доц. И.П. Лаврик). По программам бакалавриата разработаны учебно-методические комплексы дисциплин «Биохимия растений» (проф. Н.Н. Новиков), «Пищевая химия» (доц. Л.Д. Волкова).

Для обеспечения учебного процесса по всем дисциплинам, преподаваемым на кафедре, были разработаны учебные пособия и рабочие программы, методические указания и рабочие тетради к лабораторным работам, тестовые задания к семинарским занятиям. В 2004 г. выпущен учебник для вузов профессора Н.М. Личко «Стандартизация и сертификация продукции растениеводства». Н.М. Личко является также соавтором справочника по товароведению продовольственных товаров, который издан в 2003 г. Авторским коллективом кафедры под руководством и редакцией профессора Н.М. Личко было подготовлено и выпущено 2-е издание учебника для вузов «Технология переработки продукции растениеводства» (М.: КолосС, 2006) и учебник для средних специальных заведений «Технология переработки растениеводческой продукции» (М.: КолосС, 2008). Доцентом кафедры М.Ш. Бегеуловым издано учебное пособие «Основы переработки соевых семян», отмеченное за выдающийся вклад в развитие отечественного производства и переработки сои дипломом лауреата Российского соевого союза. Издано учебное пособие проф. Н.Н. Новикова «Биохимия растений» (2003 г.), а также биохимические разделы в учебниках «Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений» (два издания — 1998 и 2005 гг.) и «Сельскохозяйственная биотехнология» (три издания — 1998, 2003, 2008 гг.); в 2008 г. подготовлен к изданию учебник для вузов «Биохимия растений».

В 2000–2002 гг. проф. Н.Н. Новиковым была подготовлена документация и обоснование для введения в один из докторских диссертационных советов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева научной специальности 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур и крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства». По указанной научной специальности под руководством проф. Н.М. Личко подготовлено 10 кандидатов наук, под руководством проф. Н.Н. Новикова — 3 кандидата наук (совместно с другими сотрудниками) и 2 кандидата наук по научной специальности «Физиология и биохимия растений».

В 1998–2008 гг. на кафедре продолжались научные работы, связанные с улучшением технологических свойств зерна пшеницы и продукции других сельскохозяйственных культур (проф. Н.М. Личко, доц. Н.Н. Пермякова, доц. М.Ш. Бегеулов). Разрабатывали также приемы выращивания льна-долгунца на основе применения

фиторегуляторов различной природы, которые способны повышать семенную продуктивность растений на 10–15%, лабораторную всхожесть семян на 3–5% и сократить сроки вегетации растений на 2–4 дня (доц. А.Г. Мякинков).

Доц. Н.А. Поповым, проф. Н.М. Личко была продолжена исследовательская работа по разработке приемов и способов фракционирования зерна по плотности и аэродинамическим свойствам, которые позволяют выделить из общей массы зерна отдельные фракции, различающиеся по физико-химическим показателям. В результате применения указанной методики оказывается возможным выделять из партий дефектного зерна фракции продовольственной пшеницы, из продовольственного зерна — фракции пшеницы улучшителя. Доц. М.Ш. Бегеуловым проводится разработка рецептур и совершенствование технологических режимов производства обогащенных хлебобулочных изделий.

В этот период проф. Н.Н. Новиков совместно с аспирантами выполнял исследования по разработке биохимических основ формирования качества растительной продукции, которые были связаны с изучением влияния режима питания растений и фиторегуляторов на состав белков и качество растительной продукции; выяснением связи между составом белков и технологическими свойствами зерна пшеницы и других злаковых культур. В ходе электрофоретических исследований он обосновал возможность использования белковых и полипептидных компонентов в качестве генетических маркеров при отборе генотипов пшеницы с улучшенными технологическими свойствами зерна. На основе сопоставления химического состава листьев и качественных показателей зерна можно оценивать критерии для ранней диагностики азотного питания злаковых культур с целью прогнозирования накопления в зерне белков и клейковины (проф. Н.Н. Новиков, доц. Т.В. Таразанова). В научно-исследовательской работе кафедры принимали активное участие студенты, которые выступали с докладами на научных студенческих конференциях университета, а также участвовали во всероссийских конкурсах студенческих научных работ.

С сентября 2008 г. по 11 мая 2013 г. кафедрой руководил доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Международной академии аграрного образования Кобозев Илья Васильевич. Научно-исследовательская и изобретательская деятельность И.В. Кобозева отмечена нагрудными знаками «Изобретатель СССР», «Отличник изобретательства и рационализаторства», «За заслуги в изобретательстве» (дважды), а также 2 золотыми и 5 серебряными, 2 бронзовыми медалями и дипломами ВДНХ СССР, 2 медалями «Лауреат ВВЦ РФ», 3 Почетными грамотами МСХ СССР, Почетными грамотами МСХА имени К.А. Тимирязева и других учреждений. В общей сложности опубликовано более 500 его научных работ, в т.ч. 12 монографий, 18 рекомендаций производству, 1 научно-учебный фильм, 6 выставочных проспектов, 18 учебно-методических рекомендаций. Под его научным руководством защищены 5 докторских и 9 кандидатских диссертаций.

С 2011 г. на кафедре начата подготовка бакалавров по направлению «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (профиль «Технология и переработка растительной продукции»), а также по направлению «Продукты питания из растительного сырья» (профиль «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий»).

И.В. Кобозев большое внимание уделял совершенствованию материально-технической базы кафедры. В период его руководства лаборатории кафедры были оснащены современным лабораторным оборудованием и приборами. Были приобретены печь конвекционная UNOX XFT 135, шкаф расстоечный UNOX XLT 135, машина для производства макаронных изделий La Monferrina Dolly Mini, тестомесилка

У1-ЕТВ для пробной выпечки, пресс ручной ПР 12Т-1М, белизнамер лабораторный СКИБ-М, измеритель прочности макарон ИПМ-1, аппарат для производства соевого молока SK-100, 2 комплекта лабораторного хлебопекарного оборудования КОХП, 2 сушильных шкафа СЭШ-3МЭ, устройство для отмывания клейковины У1-МОК1-МТ, лабораторная мельница ЛМТ-2, анализатор инфракрасный «Спектран-119М» и др. Усилиями И.В. Кобозева учебная и научно-исследовательская работа кафедры перешла на существенно качественно более высокий уровень. 11 мая 2013 г. на 63 году жизни Илья Васильевич Кобозев скоропостижно скончался.

С октября 2013 г. кафедрой руководит доктор сельскохозяйственных наук Галина Георгиевна Юсупова. С ее приходом к традиционным направлениям научно-исследовательской деятельности кафедры добавились влияние энергии СВЧ на качество и микробиологическую безопасность растительного сырья и продуктов его переработки; обеспечение микробиологической безопасности хлебопекарных предприятий; совершенствование технологии производства кондитерских и макаронных изделий.

За последние годы кафедрой издано 12 учебников и учебных пособий, 11 монографий, большое количество рекомендаций производству. В 2013 г. издан учебник профессора Н.М. Личко «Стандартизация и подтверждение соответствия сельскохозяйственной продукции». В апреле 2014 г. по итогам VI Всероссийского конкурса «Аграрная учебная книга» высших учебных заведений Минсельхоза России автор учебника награждена дипломом первой степени. Под руководством д.с.-х.н. Г.Г. Юсуповой подготовлены 5 монографий, 4 учебных пособия, в том числе справочник «Микробиологический контроль на хлебопекарных предприятиях», учебное пособие «Микробиологический контроль производства зерно-мучных продуктов». Для улучшения практической подготовки студентов при кафедре создан филиал на базе Всероссийского центра по оценке качества сортов сельскохозяйственных культур.

По каждой преподаваемой дисциплине разработаны учебно-методические комплексы (43). К лекциям и семинарским занятиям имеется иллюстративный материал в виде презентаций, слайдов и электронных фотографий, таблиц и графиков, учебных стендов, опытных образцов и моделей, наглядного раздаточного материала. Проводится обучение в аспирантуре и подготовка соискателей ученой степени кандидатов с.-х. наук по специальности 05.18.01.

TO THE 150TH ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF «STORAGE, PROCESSING AND MERCHANDISING OF CROP PRODUCTION»: ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT HISTORY

N.M. LICHKO, V.N. KURDINA, N.N. NOVIKOV, M.SH. BEGEULOV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The article presents information on the development of the educational process and scientific schools at the Department of Storage, Processing and Merchandising of Crop Production. It also describes the historical period since the founding of Petrovskaya Agricultural and Forestry Academy and the establishment of the department since 1865 to the present day.

Key words: history of the Department, heads of the Department, academic work, research, methodical work, scientific schools, learning and technical support, textbooks.

Личко Нина Михайловна — к. с.-х. н., проф. кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-71).

Курдина Вера Николаевна — к. с.-х. н. (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-71).

Новиков Николай Николаевич — д. б. н., проф. кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-40-24).

Бегеулов Марат Шагабанович — к. с.-х. н., доц. кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская 49; тел.: (499) 976-12-71; e-mail: mbegeulow@timacad.ru).

Lichko Nina Mikhailovna — PhD in Agricultural Sciences, Professor of the Department of Storage, Processing and Merchandising of Crop Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: (+7 499) 976-12-71).

Kurdina Vera Nikolaevna — PhD in Agricultural Sciences (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: (+7 499) 976-12-71).

Novikov Nikolai Nikolaevich — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: (+7 499) 976-40-24).

Begeulov Marat Shagabanovich — PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Storage, Processing and Merchandising of Crop Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: (+7 499) 976-12-71; e-mail: mbegeulow@timacad.ru).

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие Министра сельского хозяйства Российской Федерации Александра Николаевича Ткачева	5
Приветствие главного редактора, ректора РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Вячеслава Михайловича Лукомца	6

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

Яшин И.М., Васенев И.И., Гареева И.В., Черников В.А. Экологический мониторинг вод Москвы-реки в столичном мегаполисе	8
--	---

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

Мажулина И.В., Тертычная Т.Н., Шевцов А.А. Исследование оптимальных условий ферментативного гидролиза инулина инулиназой <i>Bacillus pumilus</i> 29	26
Рубец В.С., Широколава А.В., Пыльнев В.В. Влияние спонтанной гибридизации на сортовую чистоту посевов тритикале (<i>×Triticosecale wittm.</i>)	37
Feodorova T.A., Alexandrov O.S. The molecular-phylogenetic study of <i>Petrosimonia</i> species of Chenopodiaceae Juss. Family [Молекулярно-филогенетическое изучение представителей рода <i>Petrosimonia</i> семейства Chenopodiaceae Juss.]	54

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Энергобалансовая оценка урожайности яровых культур	61
--	----

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Золотова А.В., Панов В.П., Есавкин Ю.И., Просекова Е.А. Рост и анатомо-гистологическая характеристика осевой мускулатуры африканского сома <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell)	81
Пронина Г.И., Корягина Н.Ю., Иванов А.А. Физиолого-иммунологические адаптации карпа к краснухе	94
Юлдашбаев Ю.А., Салаев Б.К., Гаряев Б.Е., Арылов Ю.Н. Продуктивность и биологические особенности курдючных овец Калмыкии	106

ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Волчок А.А., Рожкова А.М., Зоров И.Н., Щербаков С.С., Сеницын А.П. Использование новых мультиферментных комплексов в производстве фруктовых вин	123
---	-----

К 150-ЛЕТИЮ ТИМИРЯЗЕВКИ

Личко Н.М., Курдина В.Н., Новиков Н.Н., Бегаулов М.Ш. К 150-летию кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства: история становления и развития	132
---	-----

CONTENTS

<i>Welcoming address of the Minister of Agriculture of the Russian Federation – Alexander Nikolayevich Tkachev.....</i>	5
<i>Welcoming address of the editor-in-chief, rector of the Russian Timiryazev State Agrarian University – Vyacheslav Mikhailovich Lukomets</i>	6
<i>AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE AND ECOLOGY</i>	
<i>Yashin I.M., Vasenev I.I., Gareeva I.V., Chernikov V.A. Ecological monitoring of the Moskva River waters in metropolitan area.....</i>	8
<i>GENETICS, BIOTECHNOLOGY, SELECTION AND SEED BREEDING</i>	
<i>Mazhulina I.V., Tertychnaya T.N., Shevtsov A.A. Research on optimum conditions for enzymic hydrolysis of inulin by <i>Bacillus polymyxa</i> 29 inulinase</i>	26
<i>Rubets V.S., Shirokolava A.V., Pylnev V.V. The influence of spontaneous hybridization on triticale (<i>×Triticosecale</i> wittm.) plantings varietal purity</i>	37
<i>Feodorova T.A., Alexandrov O.S. The molecular-phylogenetic study of <i>Petrosimonia</i> species of Chenopodiaceae Juss. Family</i>	54
<i>PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY</i>	
<i>Shul'gin I.A., Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V. Energy-balance approach to evaluation of spring crops yield</i>	61
<i>ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE</i>	
<i>Zolotova A.V., Panov V.P., Esavkin Yu.I., Prosekova E.A. Growth and anatomo-histologic characteristics of axial muscles of the African catfish <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell) .</i>	81
<i>Pronina G.I., Koryagina N.Yu., Ivanov A.A. Physiological and immunological adaptations of carp to red spot disease</i>	94
<i>Yuldashbaev Yu.A., Salayev B.K., Garyaev B.E., Yu.N. Arylov. The productivity and biological characteristics of fat-tailed sheep of Kalmykia</i>	106
<i>AGRICULTURAL PRODUCTION STORAGE AND PROCESSING TECHNOLOGIES</i>	
<i>Volchok A.A., Rozhkova A.M., Zorov I.N., Shcherbakov S.S., Sinitsyn A.P. The use of new multi-enzyme complexes in the production of fruit wines</i>	123
<i>TO THE 150-TH ANNIVERSARY OF THE TIMIRYAZEV ACADEMY</i>	
<i>Lichko N.M., Kurdina V.N., Novikov N.N., Begeulov M.Sh. To the 150th anniversary of the Department of «Storage, Processing and Merchandising of Crop Production»: establishment and development history</i>	132

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

Сдано в набор 19.10.2015 г. Подписано в печать 28.10.2015 г. Формат 70 × 100¹/₁₆
Уч.-изд. л. 8,93 Усл. печ. л. 8,65 Усл. кр.-отт. 9,29
Тираж 500 экз.

Издательство РГАУ-МСХА
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44
Тел. (499) 976-07-48