



ISSN 2619-0605

Вестник

Керченского государственного
морского технологического
университета

ВЫПУСК 3

2024

16+

Рецензируемый научный журнал «Вестник Керченского государственного морского технологического университета» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-78328 от 15.05.2020 г.

Журнал «Вестник КГМТУ» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям (отраслям науки): 1.5.13 – Ихтиология (биологические науки) с 01.02.2022 г.; 4.3.3 – Пищевые системы (технические науки) с 27.04.2022 г.; 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика (экономические науки) с 21.02.2023 г.

Редакционный Совет журнала

Главный редактор: Логунова Наталья Анатольевна – д-р экон. наук, доцент, проректор по научной работе

Заместитель главного редактора:

Ушаков Владислав Валериевич – канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры экономики и гуманитарных дисциплин

Редакционная коллегия журнала

Биологические науки

Губанов Е.П.
Золотницкий А.П.
Миноранский В.А.
Москул Г.А.
Тарасенко В.С.
Тюрин В.В.
Чебанов М.С.
Булли Л.И.
Кулиш А.В.
Пашков А.Н.
Тылик К.В.
Сытник Н.А.
Шляхов В.А.

Технические науки

Алексян И.Ю.
Антипов С.Т.
Гукасян А.В.
Донченко Л.В.
Косачев В.С.
Максименко Ю.А.
Нугманов А.Х.-Х.
Соколов С.А.
Панфилов В.А.
Фалько А.Л.
Битютская О.Е.
Яшонков А.А.

Экономические науки

Бутова Т.Г.
Гришкина С.Н.
Исраилов М.В.
Котенев А.Д.
Мнацаканян А.Г.
Пискун Е.И.
Подсолонко В.А.
Сметанко А.В.
Труба А.С.
Яркина Н.Н.

Серёгин С.С. – ответственный секретарь

Уманец В.А. – технический редактор

Бобарькин О.В. – компьютерная верстка

Статьи в журнале издаются на русском и английском языках.

Позиция автора публикаций может не совпадать с точкой зрения редакционного совета и редакционной коллегии журнала.

Издается по решению НТС ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», протокол № 7 от 12.09.2024 г.

Адрес: 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82

E-mail: vestnik@ejkgmtu.ru

Web: <http://www.ejkgmtu.ru/>

Редакционная коллегия журнала

Биологические науки

Научные специальности 1.5.13 «Ихтиология», 1.5.15 «Экология»

1. Губанов Евгений Павлович – д-р биол. наук, профессор, старший научный сотрудник
2. Золотницкий Александр Петрович – д-р биол. наук, профессор, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АзНИИРХ»), главный научный сотрудник
3. Миноранский Виктор Аркадьевич – д-р с.-х. наук, Южный федеральный университет, профессор кафедры зоологии, председатель Ассоциации по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных «Живая природа степи»
4. Москул Георгий Алексеевич – д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», профессор кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
5. Тарасенко Виктор Сергеевич – д-р г.-м. наук, профессор, председатель Крымской республиканской ассоциации «Экология и мир», действительный член (академик) Крымской Академии Наук, Президент Крымской Академии Наук
6. Тюрин Владислав Викторович – д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», заведующий кафедрой генетики, микробиологии и биотехнологии
7. Чебанов Михаил Степанович – д-р биол. наук, профессор, директор ГКУ КК «Кубаньбиоресурсы»
8. Булли Любовь Ивановна – канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры
9. Кулиш Андрей Викторович – канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры
10. Пашков Андрей Николаевич – канд. биол. наук, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АзНИИРХ»), заместитель руководителя Краснодарского отделения
11. Тылик Константин Владимирович – канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», декан факультета биоресурсов и природопользования
12. Сытник Наталья Александровна – канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», заведующий кафедрой экологии моря
13. Шляхов Владислав Алексеевич – канд. биол. наук, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АзНИИРХ»), старший научный сотрудник

Технические науки

Научная специальность 4.3.3 «Пищевые системы (технические науки)»

1. Алексанян Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», профессор кафедры «Технологические машины и оборудование»
2. Антипов Сергей Тихонович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств
3. Гукасян Александр Валерьевич – д-р техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», директор института механики,

робототехники, инженерии транспортных и техн. систем (ИМРИТТС), заведующий кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения

4. Донченко Людмила Владимировна – д-р техн. наук, профессор, директор НИИ Биотехнологии и сертификации пищевой продукции Кубанского государственного аграрного университета
5. Косачев Вячеслав Степанович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Института механики, робототехники, инженерии транспортных и техн. систем (ИМРИТТС)
6. Максименко Юрий Александрович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование»
7. Нугманов Альберт Хамед-Харисович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», профессор кафедры «Технологические машины и оборудование»
8. Панфилов Виктор Александрович – д-р техн. наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств
9. Соколов Сергей Анатольевич – д-р техн. наук, профессор, ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», заведующий кафедрой общепромышленных дисциплин
10. Фалько Александр Леонидович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств
11. Битютская Ольга Евгеньевна – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», заведующий кафедрой технологии продуктов питания
12. Яшонков Александр Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств

Экономические науки

Научная специальность 5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика»

1. Бутова Татьяна Георгиевна – д-р экон. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры международной и управленческой экономики
2. Гришкина Светлана Николаевна – д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», профессор Департамента учета, анализа и аудита
3. Исраилов Магамед Вахаевич – д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» профессор кафедры экономики и управления в образовании
4. Котенев Александр Дмитриевич – д-р экон. наук, доцент, Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации (Ставропольский филиал), начальник кафедры социально-экономических и гуманитарных дисциплин
5. Мнацаканян Альберт Гургенович – д-р экон. наук, профессор, Директор института отраслевой экономики и управления, заведующий кафедрой отраслевых и корпоративных финансов ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

6. Пискун Елена Ивановна – д-р экон. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», заведующий кафедрой туризма, сервиса и гостиничного бизнеса
7. Подсолонко Владимир Андреевич – д-р экон. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», профессор кафедры государственного и муниципального управления Института экономики и управления (структурное подразделение)
8. Сметанко Александр Васильевич – д-р экон. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», заведующий кафедрой учета, анализа и аудита Института экономики и управления (структурное подразделение)
9. Труба Анатолий Сергеевич – д-р экон. наук, профессор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», главный научный сотрудник, консультант по экономическим вопросам Управления перспективного развития
10. Яркина Наталья Николаевна – д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры экономики и гуманитарных дисциплин

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная специальность 1.5.13 «Ихтиология»

Ефимова Т.В., Чурилова Т.Я., Моисеева Н.А., Скороход Е.Ю., Бучельников А.С., Бучельникова В.А. ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА АТЛАНТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЮЖНОГО ОКЕАНА АСТРОНОМИЧЕСКИМ ЛЕТОМ 2020 ГОДА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД 7

Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Джавахия В.В., Глаголева Е.В., Гинятов Н.С., Никифоров-Никишин А.Л., Карташов М.И., Увайдов М.М. ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «АКВАСПОРИН» НА РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) 20

Научная специальность 1.5.15 «Экология»

Моисеева Н.А., Чурилова Т.Я., Скороход Е.Ю., Салюк П.А., Ефимова Т.В., Давыдова Д.Г., Саушева А.А., Самойлов М.А. СВЯЗЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА А С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ ПОГРУЖНЫМ ЗОНДОМ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАМЧАТКИ 33

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная специальность 4.3.3 «Пищевые системы»

Макаров А.Е., Нугманов А.Х.-Х., Алексанян И.Ю., Осмоловский П.Д., Фоменко Е.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ МЯКОТИ ХУРМЫ 46

Shakhov S.V., Antipov S.T., Panfilov V.A. ACCELERATED DEVELOPMENT OF FOOD PRODUCTION TECHNOLOGIES 57

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная специальность 5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика»

Будагов Н.В. ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА (НА МАТЕРИАЛАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ) 63

Лаптева Е.П., Доскач Л.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА «РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИИ РЫБНОЙ ОТРАСЛИ» С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ 71

Рысина В.А. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОРГАНИЗАЦИИ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА 88

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Крюк Р.В., Курбанова М.Г., Колбина А.Ю., Головешкин Е.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО ПИТАНИЯ 98

УДК [581.526.325:57.01](269.4)"2020"

Ефимова Т.В., Чурилова Т.Я., Моисеева Н.А., Скороход Е.Ю., Бучельников А.С.,
Бучельникова В.А.

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА АТЛАНТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЮЖНОГО ОКЕАНА АСТРОНОМИЧЕСКИМ ЛЕТОМ 2020 ГОДА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД

Аннотация. Работа посвящена исследованию продукционных характеристик фитопланктона в поверхностном слое Южного океана (атлантический сектор) в январе-феврале 2020 г. Отбор проб проводили в ходе 79-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Первичная продукция фитопланктона впервые была определена с помощью спектрального подхода. Величина удельной (нормированной на концентрацию хлорофилла a) скорости фотосинтеза составляла в среднем $1,2 \pm 0,4$ мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹. Установлена зависимость валовой суточной первичной продукции в поверхностном слое моря от концентрации хлорофилла a , которая описывается степенным уравнением. Полученная зависимость позволяет оценивать первичную продукцию в поверхностном слое Южного океана в летний период на основе данных по концентрации хлорофилла a , измеренной в море и полученной по спутниковым данным.

Ключевые слова: первичная продукция, скорости фотосинтеза, спектральный подход, хлорофилл a , атлантический сектор Южного океана.

Efimova T.V., Churilova T.Ya., Moiseeva N.A., Buchelnikov A.S., Skorokhod E.Yu.,
Buchelnikova V.A.

PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON IN SURFACE LAYER OF THE ATLANTIC REGION OF THE SOUTHERN OCEAN (AUSTRAL SUMMER OF 2020)

Abstract. Photosynthetic characteristics of phytoplankton were measured in surface layer of the Atlantic region of the Southern Ocean in austral summer of 2020. Gross primary production was estimated for the first time based on full spectral approach. Chlorophyll a specific photosynthesis rate was 1.2 ± 0.4 mgC mgChl⁻¹ h⁻¹ on average. Daily primary production co-varied with chlorophyll a concentration. The relationship between these parameters was described by a power function. The obtained relationship can be applied for assessment of the primary production in surface layer of the Southern ocean in summer based on *in situ* and remote sensing data.

Keywords: primary production, photosynthetic rate, spectral approach, chlorophyll a , the Atlantic region of the Southern Ocean.

Введение. Фитопланктон, обеспечивающий первичный синтез органического вещества в верхнем освещённом слое вод, является основой пищевой сети всех водных экосистем. Точность оценки первичной продукции (ПП) фитопланктона в Мировом океане имеет решающее значение в исследовании геохимического цикла углерода на Земле, что особенно актуально в настоящее время в связи с климатическими изменениями, а именно с глобальным потеплением. Величина ПП в море определяется такими ключевыми факторами окружающей среды, как свет, обеспеченность фитопланктона биогенными веществами и температура [1]. Глобальное потепление оказывает влияние на все перечисленные факторы среды, что наиболее выражено для высоких широт [2]. Южный океан является наиболее уязвимым регионом для глобального потепления [3].

Исследование продукционных характеристик фитопланктона в поверхностном слое вод имеет первостепенное значение для оценки современного состояния экосистемы Южного океана и прогноза его возможных изменений. Для определения ПП используют *in situ* методы [4] и методы дистанционного зондирования, которые в отличие от природных наблюдений позволяют получать данные с высоким пространственным и временным разрешением [5].

Однако, показано, что имеющиеся глобальные и региональные алгоритмы, разработанные специально для Южного океана, недооценивают Chl-а [6, 7], который используется в большинстве спутниковых алгоритмов расчёта PP [8]. Различия между значениями концентрации хлорофилла a , полученными в результате измерения *in situ* и восстановленными по спутниковым данным, обусловлены влиянием на точность алгоритмов оптически активных компонентов (ОАК) водной среды, которые определяют сигнал «видимый» спутниковыми сканерами (коэффициент яркости моря, Rrs) [9]. Преобладающее влияние на величину Rrs оказывает поглощение света ОАК, которое складывается из поглощения света водой, пигментами фитопланктона, неживой взвесью (NAP) и окрашенным растворённым органическим веществом (CDOM) [10]. Глобальное потепление приводит к активному таянию ледников в Антарктике [11], что приводит к обогащению вод Южного океана CDOM и NAP [12]. CDOM, NAP и фитопланктон значительно поглощают свет в коротковолновом диапазоне PAR и влияют на ослабление и изменение спектрального состава света с глубиной. Это определяет актуальность спектрального подхода к оценке PP [13]. Спектральный подход, разработанный для Чёрного моря [14], учитывает изменения спектральных характеристик света, доступного фитопланктону в море в процессе фотосинтеза, спектральных показателей поглощения света различного спектрального состава пигментами фитопланктона, и квантовый выход фотосинтеза, что обеспечивает корректную оценку PP.

Цель исследования состояла в оценке продукционных характеристик фитопланктона в поверхностном слое вод в атлантическом секторе Южного океана.

Материалы и методы исследования. Отбор проб проводился с 11 января по 4 февраля 2020 г. в ходе 79-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Район исследований охватывал Фолклендское (Мальвинское) течение, пролив Брансфилда, пролив Дрейка и бассейн Пауэлла. Профили температуры и солёности были получены с помощью STD-зонда SBE-911plus. Измерения фотосинтетически активной радиации (PAR) проводили с помощью палубного датчика для измерения уровня освещенности Li-Cor LI-190SA. Пробы воды отбирали с помощью кассеты батометров. Нижнюю границу верхнего квазиоднородного слоя (UML) определяли по критерию разности температуры ($0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) в сравнении с поверхностным слоем в соответствии с [15]. За глубину зоны фотосинтеза (Z_{eu}) принимали глубину, на которую проникает 1% от PAR, падающей на поверхность моря [10]. Сразу после отбора пробы воды были профильтрованы при слабом вакууме ($<0,2\text{ атм}$) и красном освещении для определения концентрации хлорофилла a в сумме с феопигментами (Chl-а), спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона и CDOM.

Chl-а определяли спектрофотометрическим методом [16]. Для этого пробы воды (1,5-2 л) фильтровали на стекловолоконистые фильтры GF/F (Whatman). Пигменты из осаждённой на фильтры взвеси экстрагировали в 90% растворе ацетона.

Показатели поглощения света пигментами фитопланктона ($a_{ph}(\lambda)$) определяли по методике «количественного определения на увлажненных фильтрах» [17] в соответствии с протоколом NASA [18]. Взвешенное вещество осаждали на стекловолоконистые фильтры Whatman GF/F путём фильтрации пробы воды (1,5-2 л). Разделение всего взвешенного вещества на NAP и пигменты фитопланктона проводили методом удаления пигментов из взвеси с помощью горячего метанола [19].

Оптические измерения проводили с шагом в 1 нм на двухлучевом спектрофотометре с интегрирующей сферой Lambda 35 (Perkin Elmer) в диапазоне длин волн от 350 до 750 нм.

Измерения показателей флуоресценции хлорофилла a проводили на лабораторном флуориметре Smart, разработанном на кафедре биофизики МГУ [20]. Перед измерением показателей флуоресценции хлорофилла a пробы адаптировали к темноте в течении ~30 минут [21]. После завершения адаптации к темноте проводили измерения интенсивности флуоресценции хлорофилла a при открытых (до насыщающей вспышки) реакционных центрах фотосистемы 2 (F_0) и после насыщающей вспышки (F_m) [22]. Из интенсивности флуоресценции пробы вычитали фоновую флуоресценцию CDOM (F_{CDOM}). Для определения

флуоресценции CDOM пробы воды фильтровали через фильтры Sartorius Nuclepore с диаметром пор 0,2 мкм. Фильтры предварительно промывали деионизированной водой [23].

Используя полученные величины F_0 и F_m определяли максимальный фотохимический квантовый выход фотосистемы 2 (F_v/F_m), где $F_v = F_m - F_0$ [22]. После измерения значений F_0 и F_m проводили измерения минимальной (F'_0) и максимальной (F'_m) интенсивностей флуоресценции на свету различной интенсивности в диапазоне от 0,0125 до 1000 мкЭ м⁻² сек⁻¹ (не менее 10 измерений). Используя полученные величины F'_0 и F'_m определяли фотохимический квантовый выход фотосистемы 2 на свету. Используя полученные таким образом величины F'_v/F'_m , определяли относительную скорость транспорта электронов (rETR) в зависимости от интенсивности PAR. Полученную зависимость описывали по уравнению, предложенному в [24].

Величину валовой первичной продукции определяли, используя спектральный подход, подробно описанный в [14]:

$$PP = 12000 \phi \cdot PUR_{psp}, \quad (1)$$

где 12000 – коэффициент для перехода от молей углерода к мг;

ϕ – квантовый выход фотосинтеза;

PUR_{psp} – количество квантов света, поглощенных пигментами фитопланктона на единицу Chl-a.

Квантовый выход фотосинтеза определяли в соответствии с [25]:

$$\phi = \phi_{max} \cdot \tanh(I_k / PAR), \quad (2)$$

где ϕ_{max} – максимальный квантовый выход фотосинтеза;

I_k – интенсивность света, насыщающая фотосинтез.

Величину ϕ_{max} определяли по величине F_v/F_m , используя для перехода от F_v/F_m к ϕ_{max} показатель, который характеризует потребность в электронах для фиксации углерода [26].

Величина I_k вычислялась по параметрам уравнения, описывающего зависимость rETR от PAR [24].

Величину PUR_{psp} определяли, как описано в [27].

Статистический анализ проводился с помощью программного обеспечения Statistica 12 и Grapher v.17 при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Рисунки были построены с помощью программного обеспечения Grapher v.17 и QGIS Desktop 3.8.0.

Результаты исследования и их обсуждение. Гидрологическая структура вод в районе исследований характеризовалась высокой неоднородностью. Глубина *Zeu* варьировала от 29 м в бассейне Пауэлла до 87 м в проливе Дрейка. Температура воды в поверхностном слое вод варьировала в диапазоне от 13 °С в Фолклендском течении на 42-й параллели ю.ш. до – 0,47 °С в проливе Брансфилда выше 60-й параллели ю.ш. Значения максимального температурного градиента в слое *Zeu* не превышали 0,8 °С м⁻¹. Соленость в поверхностном слое варьировала в небольшом диапазоне от 31 до 36 ‰ [28]. PAR на различных станциях варьировала от 14 до 58 Э м⁻² сут⁻¹.

Величина Chl-a является очень значимой характеристикой PP фитопланктона. Величина Chl-a в поверхностном слое вод в исследованных районах Южного океана различалась между станциями ~ в 20 раз: от 0,20 мг Хл м⁻³ в проливе Дрейка до 4,4 мг Хл м⁻³ бассейне Пауэлла [28]. Широкий диапазон вариабельности Chl-a обусловлен контрастностью вод по гидрологическим характеристикам [29], в результате чего условия существования фитопланктона различались как по температуре и интенсивности ФАР (рис. 1), так и по биогенной обеспеченности [30]. Известно, что скорость фотосинтеза, определяющая прирост биомассы фитопланктона, увеличивается с ростом температуры воды и интенсивности падающей солнечной радиации [1, 10]. Однако, в период исследований зависимости Chl-a (маркера биомассы фитопланктона) от какого-либо фактора среды не наблюдалось. Это

связано с тем, что Chl-а определяется как интенсивностью новообразования органического вещества, так и выеданием фитопланктона зоопланктоном [31]. При этом, согласно литературным данным в Южном океане астрономическим летом биомасса фитопланктона, а, следовательно, и Chl-а, в большей степени регулируется выеданием, которое зависит от биомассы зоопланктона [32, 33].

В целом, полученный диапазон изменчивости Chl-а астрономическим летом в поверхностном слое вод исследованного региона хорошо согласуется с данными, полученными в водах Южного океана другими авторами [30, 32, 34]. При этом, диапазон величин Chl-а, полученных в проливе Бранфилда флуориметрическим методом в том же рейсе и в тех же точках что и у нас [35], совпадает с нашими измерениями (от 0,26 до 1,2 мг Хл м⁻³) с точностью $\pm 0,1$ мг Хл м⁻³ с тенденцией к увеличению по направлению от юго-востока к северо-западу. Следует отметить, что в марте 2002 г. Chl-а в проливе Брансфилда составляла от 0,28 до 1,2 мг Хл м⁻³, и имела тенденцию к увеличению в северном направлении [36].

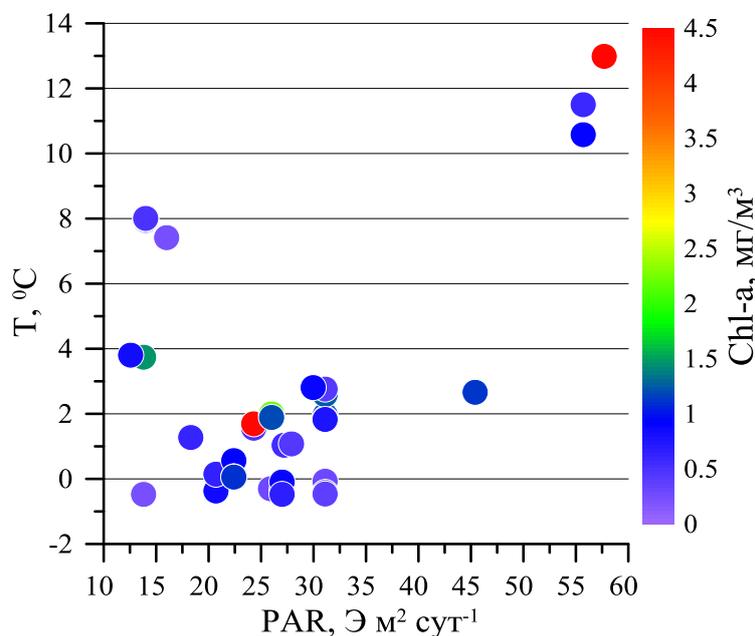


Рисунок 1 – Сравнение концентрации хлорофилла *a* в сумме с феопигментами (Chl-а) с падающей на поверхность моря фотосинтетически активной радиацией (PAR) и температурой (T) в поверхностном слое вод в атлантическом секторе Южного океана в январе-феврале 2020 г.

Величину PP в антарктическом секторе Южного океана рассчитывали на основе одновременных измерений поглощения света ОАК и параметров переменной флуоресценции хлорофилла *a*, выполненных на 17 станциях. Анализ фотосинтетических характеристик фитопланктона был проведён для поверхностного слоя моря. Полученная расчётная величина валовой суточной PP фитопланктона варьировала в меньшем диапазоне (~ в 10 раз) чем Chl-а (рис. 2). Самые низкие величины PP (менее 5 мгС м⁻³ сут⁻¹) были отмечены в юго-западной части бассейна Пауэлла. Максимальные величины PP (от 18 до 33 мгС м⁻³ сут⁻¹) наблюдалось в северо-восточной части Бассейна Пауэлла. В остальном исследованной районе величина суточной PP варьировала от 6 до 17 мгС м⁻³ сут⁻¹. Полученный в работе диапазон величин суточной PP хорошо согласуются с литературными данными по PP в водах Южного океана [35-38]. В частности, в марте 2002 в Проливе Брансфилда были отмечены величины PP в диапазоне от 4,9 до 17 мгС м⁻³ сут⁻¹, составляя в среднем 8,9 мгС м⁻³ сут⁻¹ [36].

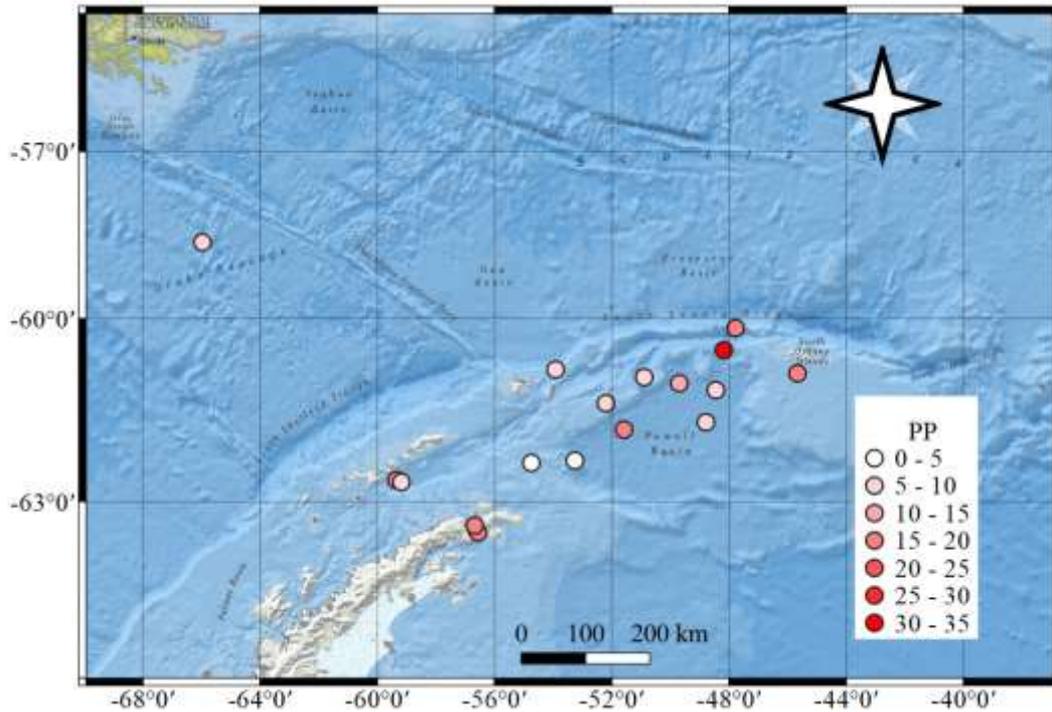


Рисунок 2 – Величина валовой суточной первичной продукции (PP) в поверхностном слое вод в атлантическом секторе Южного океана в январе-феврале 2020 г.

При определении PP не спектральным подходом, а с использованием зависимости скорости фотосинтеза от падающего света [10,] величина валовой суточной PP фитопланктона пропорциональна Chl-a и удельной (нормированной на Chl-a) скоростью фотосинтеза (ассимиляционное число, P^B). Однако, в период работ зависимости величины PP от P^B не было выявлено. Получили, что PP нелинейно увеличивалась по мере роста Chl-a по степенной зависимости ($p < 0,0001$) (рис. 3). Полученная степенная зависимость валовой PP от Chl-a (рис.3) может быть использована для трансформации Chl-a (*in situ* или спутниковые данные) в показатели продуктивности вод в атлантическом секторе Южного океана в период астрономического лета.

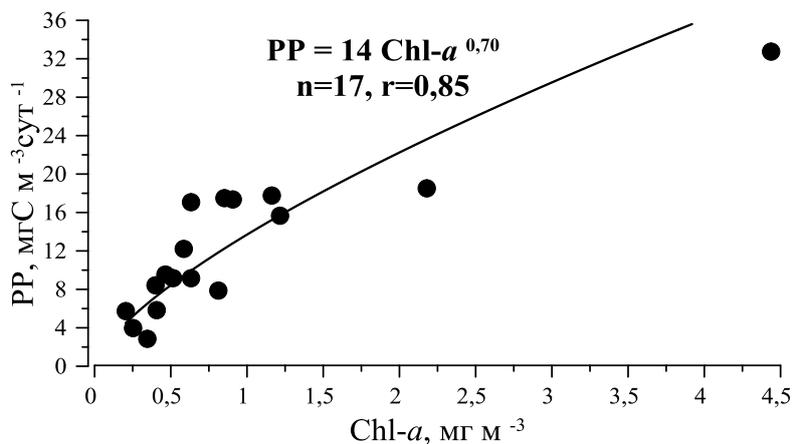


Рисунок 3 – Зависимость валовой суточной первичной продукции (PP) от концентрации хлорофилла *a* в сумме с феопигментами (Chl-a) в поверхностном слое вод в атлантическом секторе Южного океана в январе-феврале 2020 г.

Следует отметить, что полученная зависимость PP от Chl-a в атлантическом секторе Южного океана применима только для летнего периода. В другие периоды года коэффициенты степенного уравнения зависимости PP от Chl-a, вероятно, будут отличаться от

полученных для периода настоящих исследований, что связано с сезонной изменчивостью величины P^B [39], обусловленной влиянием абиотических и биотических факторов среды на удельное поглощение света пигментами фитопланктона и квантовый выход фотосинтеза [40]. Полученная в атлантическом секторе Южного океана зависимость PP от $Chl-a$ для летнего периода года очень важна, так как несмотря на то, что лето в Южном полушарии является самым коротким периодом года, именно для периода с декабря по январь характерна самая высокая продуктивность фитопланктона, и именно к этому периоду года приурочено большинство исследований PP в Антарктике [6, 8, 35, 36, 38, 41]. Уже к марту месяцу первичная продукция снижается ~ в 10 раз по сравнению с декабрём [36], что связано со снижением температуры, уменьшением светового дня и интенсивности PAR, усилением штормов и образованием льда [5]. Для периода астрономической зимы (примерно 6 месяцев) характерна минимальная продуктивность вод, возможность оценки которой как *in situ* методами, так и с помощью спутников, значительно ограничена трудностью отбора проб подо льдом и отсутствием с апреля по октябрь изображений цвета океана, полученных методом дистанционного зондирования, из-за низкого угла наклона солнца [5].

Величина P^B в Южном океане астрономическим летом 2020 г. варьировала в меньшей степени (~ в 4 раза от 0,53 до 2,0 мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹), чем отмечено для $Chl-a$ (изменение ~ 20 раз) и PP (изменение ~ в 10 раз), и составляла в среднем $1,2 \pm 0,4$ мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹ (рис. 4). В связи с тем, что вариабельность $Chl-a$ значительно (~ в 5 раз) превышала вариабельность P^B , то в изменчивость суточной величины PP была тесно связана именно с $Chl-a$.

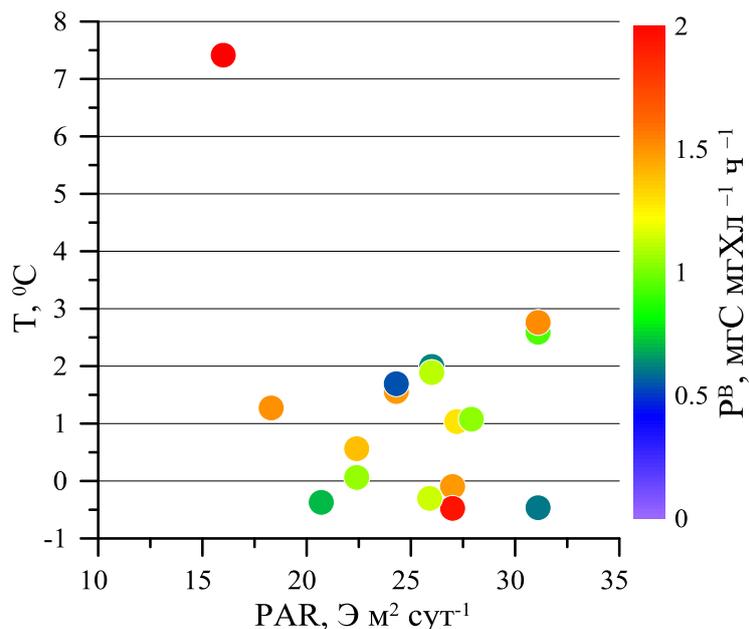


Рисунок 4 – Сравнение удельной (нормированной на $Chl-a$) скорости фотосинтеза (P^B) с падающей фотосинтетически активной радиацией (PAR) и температурой (T) в поверхностном слое вод в атлантическом секторе Южного океана в январе-феврале 2020 г.

Полученные величины P^B хорошо согласуются с данными других исследований фотосинтетических характеристик фитопланктона в поверхностном слое вод атлантического сектора Южного океана [38, 41]. Ранее было показано, что средние величины P^B в водах пролива Брансфилда и моря Беллинсгаузена составляли от 0,76 до 2,0 мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹ [36, 41], а в районе смешения вод моря Уэдделла и Скоша $0,79 \pm 0,52$ мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹ [41]. Исследования скорости фотосинтеза, выполненные радиоуглеродным методом, которые выполнялись в исследованном регионе одновременно со спектральными измерениями, показали диапазон изменчивости величины P^B от 0,51 до 1,38 мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹ [38].

Выводы. На высоком технологическом уровне с использованием спектрального подхода выполнены современная оценка и анализ первичной продуктивности фитопланктона

в поверхностном слое моря в атлантическом секторе Южного океана. Использование спектрального подхода, который учитывает спектральный состав света в среде обитания фитопланктона, особенности поглощения фитопланктоном света различного спектрального состава и квантовый выход фотосинтеза, обеспечивает высокую точность оценки PP [42]. Полученные значения первичной продукции регионе соответствуют описанным в литературе. Несмотря на то, что удельная скорость фотосинтеза в поверхностном слое вод варьировала от 0,53 до 2,0 мгС мгХл⁻¹ ч⁻¹, суточная первичная продукция коррелировала с концентрацией хлорофилла *a*, что обусловлено более высокой вариабельностью хлорофилла *a* по сравнению с удельной скоростью фотосинтеза. Корреляция между первичной продукцией и концентрацией хлорофилла *a* в поверхностном слое вод может быть использована для оценки первичной продукции в атлантическом секторе Южного океана с использованием *in situ* или спутниковых данных о концентрации хлорофилла *a* в период астрономического лета. Важность полученной корреляции для региона состоит в том, что именно весенне-летний период в Антарктике является наиболее благоприятным для цветения фитопланктона, являющегося первичным звеном всей трофической сети в регионе. А также это период активных исследований изменчивости концентрации хлорофилла *a in situ* и дистанционными методами. Проведение экспресс-оценки первичной продукции является актуальным, так как поверхностные воды Южного океана в настоящее время находятся в центре международного внимания из-за стремительного потепления океанических вод и таяния многолетних ледников, что влияет на первичную продуктивность региона в частности и геохимический цикл углерода на Земле в целом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование региональных особенностей биооптических показателей водоемов как основы дешифрования данных дистанционного зондирования для оценки мультимасштабной изменчивости первично-продукционных характеристик пелагических экосистем» (№ гос. регистрации 124030100106-2).

Список использованной литературы:

1. Falkowski P., Knoll A.H. Evolution of primary producers in the sea. Academic Press, 2011.
2. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K. (eds.). IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge. N.Y., 2013.
3. Clarke A., Murphy E.J., Meredith M.P., King J.C., Peck L.S., Barnes D.K., Smith R.C. Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula // Phil. Trans. R. Soc. 2007. Vol. 362. P. 149–166.
4. Regaudie-de-Gioux A., Lasternas S., Agustí S., Duarte C.M. Comparing marine primary production estimates through different methods and development of conversion equations // Front. Mar. Sci. 2014. Vol. 1. P. 19.
5. Babin M., Arrigo K., Bélanger S., Forget M.H. Ocean colour remote sensing in polar seas // IOCCG Report Series. № 16. Dartmouth, Canada: International Ocean Colour Coordinating Group, 2015. 130 p.
6. Pereira E.S., Garcia C.A. Evaluation of satellite-derived MODIS chlorophyll algorithms in the northern Antarctic Peninsula // Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr. 2018. Vol. 149. P. 124–137.
7. Ferreira A., Brito A.C., Mendes C.R.B., Brotas V., Costa R.R., Guerreiro C.V., Sá C., Jackson T. OC4-SO: A New Chlorophyll-a Algorithm for the Western Antarctic Peninsula Using Multi-Sensor Satellite Data // Remote Sens. 2022. Vol. 14. P. 1052.
8. Saba V.S., Friedrichs M. A. M., Antoine D., Armstrong R. A., Asanuma I., Behrenfeld M. J., et al. An evaluation of ocean color model estimates of marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe // Biogeosciences. 2011. Vol. 8. P. 489–503.
9. Mobley C.D., Scientist S. The Oceanic Optics Book. Dartmouth, NS, Canada: International

Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG), 2022.

10. *Kirk J.T.O.* Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. 3rd ed. Cambridge: University Press, 2011. 665 p.
11. *Kerr R., Mata M.M., Mendes C.R.B., Secchi E.R.* Northern Antarctic Peninsula: A marine climate hotspot of rapid changes on ecosystems and ocean dynamic // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 2018. Vol. 149. P. 4–9.
12. *Pan B.J., Vernet M., Reynolds R.A., Mitchell B.G.* The optical and biological properties of glacial meltwater in an Antarctic fjord // *PLoS ONE.* 2019. Vol. 14. e0211107.
13. *Antoine D., Morel A.* Oceanic primary production, 1: adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observations // *Global Biogeochem. Cycles.* 1996. Vol. 10 (1). P. 43–55.
14. *Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Кривенко О.В., Ефимова Т.В., Мусеева Н.А.* Спектральный подход к оценке скорости фотосинтеза фитопланктона в Черном море по спутниковой информации: методологические аспекты развития региональной модели // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология.* 2016. Т. 9. № 4. С. 367-384.
15. *Obata A., Ishizaka J., Endoh M.* Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data // *Journal of Geophysical Research.* 1996. Vol. 101. P. 20,657–20,667.
16. *Jeffrey S.W., Humphrey G.F.* New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // *Biochemie und Physiologie der Pflanzen.* 1975. Vol. 167. № 2. P. 191–194.
17. *Mitchell B.G. et al.* Determination of spectral absorption coefficient of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples // *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation.* Mueller: NASA Goddard Space Flight Centre. 2003. P. 39–64.
18. *Neeley A.R. et al.* Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient (v1.0) // *Ocean Optics & Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation.* Dartmouth, Canada: IOCCG, 2018. Vol. 1.
19. *Kishino M. et al.* Estimation of the Spectral Absorption Coefficients of Phytoplankton in the Sea // *Bulletin of Marine Science.* 1985. Vol. 37. № 2. P. 634–642.
20. *Antal T., Konyukhov I., Volgusheva A., Plyusnina T., Khruschev S., Kukarskikh G., Rubin A.* Chlorophyll fluorescence induction and relaxation system for the continuous monitoring of photosynthetic capacity in photobioreactors // *Physiologia plantarum.* 2019. Vol. 165. № 3. P. 476–486.
21. *Babin M.* Phytoplankton fluorescence: theory, current literature and in situ measurement // *Real-time Coastal Observing Systems for Marine Ecosystem Dynamics and Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation and Modelling.* Paris: UNESCO Publishing, 2008. P. 237–280.
22. *Schreiber U., Bilger W., Neubauer C.* Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *Ecophysiology of photosynthesis.* Berlin: Springer, 1994. P. 9–70.
23. *Boss E. et al.* Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Best Practices for the Collection and Processing of Ship-Based Underway Flow-Through Optical Data // *IOCCG Protocol Series.* 2019. Vol. 4. № 0.
24. *Platt T., Gallegos C.L., Harrison W.G.* Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton // *Journal of Marine Research.* 1980. Vol. 38. P. 687–701.
25. *Marra J., Trees C.C., Bidigare R.R., Barber R.T.* Pigment absorption and quantum yields in the Arabian Sea // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography.* 2000. Vol. 47. № 7-8. P. 1279–1299.
26. *Zhu Y., Suggett D.J., Liu C., He J., Lin L., Le F., Ishizaka J., Goes J., Hao Q.* Primary productivity dynamics in the summer Arctic Ocean confirms broad regulation of the electron

- requirement for carbon fixation by light-phytoplankton community interaction // *Frontiers in Marine Science*. 2019. Vol. 6. P. 275.
27. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М. Зависимость квантового выхода фотосинтеза от поглощения света фитопланктоном: получение количественных связей для оценки первичной продукции в Черном море // *Морской гидрофизический журнал*. 2021. Т. 37. № 1. С. 73–84.
 28. Churilova T., Moiseeva N., Skorokhod E., Efimova T., Buchelnikov A., Artemiev V., Salyuk P. Parameterization of Light Absorption of Phytoplankton, Non-Algal Particles and Coloured Dissolved Organic Matter in the Atlantic Region of the Southern Ocean (Austral Summer of 2020) // *Remote Sensing*. 2023. Vol 15. P. 634.
 29. Morozov E.G., Krechik V.A., Frey D.I., Polukhin A.A., Artemiev V.A., Kasyan V.V., Sapozhnikov P.V., Mukhametianov R.Z. Frontal Zone Between Relatively Warm and Cold Waters in the Northern Weddell Sea // *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean: Oceanography and Ecology*. Springer: Cham, Switzerland, 2021. Vol. 6. P. 31–53.
 30. Stepanova S.V., Polukhin A.A., Borisenko G.V., Chultsova A.L., Marina E.N., Popov O.S., Seliverstova A.M., Vidnichuk A.V., Tishchenko P.P. Hydrochemical structure of waters in the Northern Weddell Sea in Austral summer 2020 // *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean: Oceanography and Ecology*. Springer: Cham, Switzerland, 2021. Vol. 6. P. 159–174.
 31. Dickman E.M., Vanni M.J., Horgan M.J. Interactive effects of light and nutrients on phytoplankton stoichiometry // *Oecologia*. 2006. Vol. 149. № 4. P. 676–689.
 32. Pitchford J.W., Brindley J. Iron limitation, grazing pressure and oceanic high nutrient-low chlorophyll (HNLC) regions // *J. Plankton Res.* 1999. Vol. 21. P. 525–547.
 33. Le Quéré C., Buitenhuis E.T., Moriarty R., Alvain S., Aumont O., Bopp L., Chollet S., Enright C., Franklin D.J., Geider R.J., et al. Role of zooplankton dynamics for Southern Ocean phytoplankton biomass and global biogeochemical cycles // *Biogeosciences*. 2016. Vol. 13. P. 4111–4133.
 34. Ferreira A., Ciotti Á.M., Mendes C.R.B., Uitz J., Bricaud A. Phytoplankton light absorption and the package effect in relation to photosynthetic and photoprotective pigments in the northern tip of Antarctic Peninsula // *J. Geophys. Res.* 2017. Vol 122. P. 7344–7363.
 35. Воробьева О.В., Романова Н.Д., Мошаров С.А., Бардюкова Е., Захарков С.П. Продукционные характеристики фитопланктона пролива Брансфилд в летний период // *Труды ВНИРО*. 2020. Т. 181. С. 178–186.
 36. Чмыр В.Д., Сысоев А.А. Первичная продукция в проливе Брансфилда в марте 2002 г. // *Украинский антарктический журнал*. 2004. № 2. С. 145–152.
 37. Boucher N.P., Prézélin B.B. Spectral modeling of UV inhibition of in situ Antarctic primary production using a field-derived biological weighting function // *Photochemistry and Photobiology*. 1996. Vol. 64 (3). P. 407–418.
 38. Romanova N.D., Mosharov S.A., Vorobieva O.V., Bardyukova E.V. Quantitative and productional characteristics of microplankton in the Powell Basin and Bransfield Strait in Summer // *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean: Oceanography and Ecology*. Springer: Cham, Switzerland, 2021. Vol. 6. P. 197–208.
 39. Финенко З.З., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М., Бастюрк О. Изменчивость фотосинтетических параметров фитопланктона в поверхностном слое Черного моря // *Океанология*. 2002. Т. 42. № 1. С. 60–75.
 40. Falkowski P.G., Raven J.A. *Aquatic photosynthesis*. 3rd ed. Princeton University Press: New Jersey, 2007.
 41. Figueiras F. G., Arbones B., Estrada, M. Implications of bio-optical modeling of phytoplankton photosynthesis in Antarctic waters: Further evidence of no light limitation in the Bransfield Strait // *Limnology and Oceanography*. 1999. Vol. 44 (7). P. 1599–1608.
 42. Sathyendranath S., Platt T. Spectral effects in bio-optical control on the ocean system // *Oceanologia*. 2007. Vol. 49 (1). P. 5–39.

References:

1. Falkowski P., Knoll A.H. *Evolution of primary producers in the sea*. Academic Press, 2011. (In English).
2. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K. (eds.). *IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. N.Y., 2013. (In English).
3. Clarke A., Murphy E.J., Meredith M.P., King J.C., Peck L.S., Barnes D.K., Smith R.C. Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula. *Phil. Trans. R. Soc.*, 2007, vol. 362, pp. 149–166. (In English).
4. Regaudie-de-Gioux A., Lasternas S., Agustí S., Duarte, C.M. Comparing marine primary production estimates through different methods and development of conversion equations. *Front. Mar. Sci.*, 2014, vol. 1, p. 19. (In English).
5. Babin M., Arrigo K., Bélanger S., Forget M.H. Ocean colour remote sensing in polar seas // *IOCCG Report Series*, no. 16. Dartmouth, Canada, International Ocean Colour Coordinating Group, 2015, 130 p. (In English).
6. Pereira E.S., Garcia C.A. Evaluation of satellite-derived MODIS chlorophyll algorithms in the northern Antarctic Peninsula. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 2018, vol. 149, pp. 124–137. (In English).
7. Ferreira A., Brito A.C., Mendes C.R.B., Brotas V., Costa R.R., Guerreiro C.V., Sá C., Jackson T. OC4-SO: A New Chlorophyll-a Algorithm for the Western Antarctic Peninsula Using Multi-Sensor Satellite Data. *Remote Sens*, 2022, vol. 14, p. 1052. (In English).
8. Saba V.S., Friedrichs M.A.M., Antoine D., Armstrong R.A., Asanuma I., Behrenfeld M.J., et al. An evaluation of ocean color model estimates of marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe. *Biogeosciences*, 2011, vol. 8, pp. 489–503. (In English).
9. Mobley C.D., Scientist S. *The Oceanic Optics Book*. Dartmouth, NS, Canada, International Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG), 2022. (In English).
10. Kirk J.T.O. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 3rd ed. Cambridge, University Press, 2011, 665 p. (In English).
11. Kerr R., Mata M.M., Mendes C.R.B., Secchi E.R. Northern Antarctic Peninsula: A marine climate hotspot of rapid changes on ecosystems and ocean dynamic. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 2018, vol. 149, pp. 4–9. (In English).
12. Pan B.J., Vernet M., Reynolds R.A., Mitchell B.G. The optical and biological properties of glacial meltwater in an Antarctic fjord. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, e0211107. (In English).
13. Antoine D., Morel A. Oceanic primary production, 1: adaptation of a spectral light-photosynthesis model in view of application to satellite chlorophyll observations. *Global Biogeochem. Cycles*, 1996, vol. 10 (1), pp. 43–55. (In English).
14. Churilova T., Suslin, V., Krivenko, O., Efimova, T., Moiseeva N. Spektral'nyj podhod k ocenke skorosti fotosinteza fitoplanktona v Chernom more po sputnikovoj informacii: metodologicheskie aspekty razvitiya regional'noj modeli [Spectral Approach to Assessment of Phytoplankton Photosynthesis Rate in the Black Sea Based on Satellite Information: Methodological Aspects of the Regional Model Development]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Series: Biology], 2016, vol. 9, no. 4, pp. 367-384. (In Russian).
15. Obata A., Ishizaka J., Endoh M. Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data. *Journal of Geophysical Research*, 1996, vol. 101, pp. 20,657–20,667. (In English).
16. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie und Physiologie der Pflanzen*, 1975, vol. 167, no. 2, pp. 191–194. (In English).
17. Mitchell B.G. et al. Determination of spectral absorption coefficient of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. *Ocean Optics Protocols for Satellite*

- Ocean Colour Sensor Validation*. Mueller, NASA Goddard Space Flight Centre, 2003, pp. 39–64. (In English).
18. Neeley A.R. et al. Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient (v1.0). *Ocean Optics & Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation*. Dartmouth, Canada, IOCCG, 2018, vol. 1. (In English).
 19. Kishino M. et al. Estimation of the Spectral Absorption Coefficients of Phytoplankton in the Sea. *Bulletin of Marine Science*, 1985, vol. 37, no. 2, pp. 634–642. (In English).
 20. Antal T., Konyukhov I., Volgusheva A., Plyusnina T., Khruschev S., Kukarskikh G., Rubin A. Chlorophyll fluorescence induction and relaxation system for the continuous monitoring of photosynthetic capacity in photobioreactors. *Physiologia plantarum*, 2019, vol. 165, no. 3, pp. 476–486. (In English).
 21. Babin M. Phytoplankton fluorescence: theory, current literature and in situ measurement. *Real-time Coastal Observing Systems for Marine Ecosystem Dynamics and Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation and Modelling*. Paris, UNESCO Publishing, 2008, pp. 237–280.
 22. Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin, Springer, 1994, pp. 9–70. (In English).
 23. Boss E. et al. Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Best Practices for the Collection and Processing of Ship-Based Underway Flow-Through Optical Data. *IOCCG Protocol Series*, 2019, vol. 4, no. 0. (In English).
 24. Platt T., Gallegos C.L., Harrison W.G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *Journal of Marine Research*, 1980, vol. 38, pp. 687–701. (In English).
 25. Marra J., Trees C.C., Bidigare R.R., Barber R.T. Pigment absorption and quantum yields in the Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2000, vol. 47, no. 7-8, pp. 1279–1299. (In English).
 26. Zhu Y., Suggett D.J., Liu C., He J., Lin L., Le F., Ishizaka J., Goes J., Hao Q. Primary productivity dynamics in the summer Arctic Ocean confirms broad regulation of the electron requirement for carbon fixation by light-phytoplankton community interaction. *Frontiers in Marine Science*, 2019, vol. 6, p. 275. (In English).
 27. Churilova T.Y., Suslin V.V., Sosik H.M. Zavisimost' kvantovogo vyhoda fotosinteza ot pogloshcheniya sveta fitoplanktonom: poluchenie kolichestvennyh svyazey dlya ocenki pervichnoj produkcii v Chernom more [Dependence of the photosynthetic quantum yield on phytoplankton light absorption: equations for assessing primary production in the Black Sea]. *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]*, 2021, vol. 28, no. 1, pp. 67–77. (In Russian).
 28. Churilova T., Moiseeva N., Skorokhod E., Efimova T., Buchelnikov A., Artemiev V., Salyuk P. Parameterization of Light Absorption of Phytoplankton, Non-Algal Particles and Coloured Dissolved Organic Matter in the Atlantic Region of the Southern Ocean (Austral Summer of 2020). *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, p. 634. (In English).
 29. Morozov E.G., Krechik V.A., Frey D.I., Polukhin A.A., Artemiev V.A., Kasyan V.V., Sapozhnikov P.V., Mukhametianov R.Z. Frontal Zone Between Relatively Warm and Cold Waters in the Northern Weddell Sea. *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean: Oceanography and Ecology*. Springer, Cham, Switzerland, 2021, vol. 6, pp. 31–53. (In English).
 30. Stepanova S.V., Polukhin A.A., Borisenko G.V., Chultsova A.L., Marina E.N., Popov O.S., Seliverstova A.M., Vidnichuk A.V., Tishchenko P.P. Hydrochemical structure of waters in the Northern Weddell Sea in Austral summer 2020. *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean: Oceanography and Ecology*. Springer, Cham, Switzerland, 2021, vol. 6, pp. 159–174. (In English).
 31. Dickman E.M., Vanni M.J., Horgan M.J. Interactive effects of light and nutrients on phytoplankton stoichiometry. *Oecologia*, 2006, vol. 149, no. 4, pp. 676–689. (In English).

32. Pitchford J.W., Brindley J. Iron limitation, grazing pressure and oceanic high nutrient-low chlorophyll (HNLC) regions. *J. Plankton Res.*, 1999, vol. 21, pp. 525–547. (In English).
33. Le Quéré C., Buitenhuis E.T., Moriarty R., Alvain S., Aumont O., Bopp L., Chollet S., Enright C., Franklin D.J., Geider R.J., et al. Role of zooplankton dynamics for Southern Ocean phytoplankton biomass and global biogeochemical cycles. *Biogeosciences*, 2016, vol. 13, pp. 4111–4133. (In English).
34. Ferreira A., Ciotti Á.M., Mendes C.R.B., Uitz J., Bricaud A. Phytoplankton light absorption and the package effect in relation to photosynthetic and photoprotective pigments in the northern tip of Antarctic Peninsula. *J. Geophys. Res.*, 2017, vol. 122, pp. 7344–7363. (In English).
35. Vorobieva O.V., Romanova N.D., Mosharov S.A., Bardukova E.V., Zakharkov S.P. Produkcionnye harakteristiki fitoplanktona proliva Bransfild v letnij period [Phytoplankton production during austral summer in the Bransfield Strait]. *Trudy VNIRO* [The works of VNIRO], 2020, vol. 181, pp. 178–186. (In Russian).
36. Chmyr V.D., Sysoyev A.A. Pervichnaya produkcija v prolive Bransfilda v marte 2002 g. [Primary production at the Bransfield Strait during March 2002]. *Ukrains'kij Antarktichnij Zhurnal* [Ukrainian Antarctic Journal], 2004, no. 2, pp. 145–152. (In Russian).
37. Boucher N. P., Prézelin, B. B. Spectral modeling of UV inhibition of in situ Antarctic primary production using a field-derived biological weighting function. *Photochemistry and Photobiology*, 1996, vol. 64 (3), pp. 407–418. (In English).
38. Romanova N.D., Mosharov S.A., Vorobieva O.V., Bardukova E.V. Quantitative and productional characteristics of microplankton in the Powell Basin and Bransfield Strait in Summer. *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean: Oceanography and Ecology*. Springer, Cham, Switzerland, 2021, vol. 6, pp. 197–208. (In English).
39. Finenko Z., Churilova T., Sosik H., Basturk O. Izmenchivost' fotosinteticheskikh parametrov fitoplanktona v poverhnostnom sloe Chernogo morya [Variability of photosynthetic parameters of surface phytoplankton in the Black Sea]. *Okeanologiya* [Oceanology], 2002, vol. 42, no. 1, pp. 53–67. (In Russian).
40. Falkowski P.G., Raven J.A. Aquatic photosynthesis. 3rd ed. Princeton University Press, New Jersey, 2007. (In English).
41. Figueiras F.G., Arbones B., Estrada M. Implications of bio-optical modeling of phytoplankton photosynthesis in Antarctic waters: Further evidence of no light limitation in the Bransfield Strait. *Limnology and Oceanography*, 1999, vol. 44 (7), pp. 1599–1608. (In English).
42. Sathyendranath S., Platt T. Spectral effects in bio-optical control on the ocean system. *Oceanologia*, 2007, vol. 49 (1), pp. 5–39. (In English).

Сведения об авторах / Information about authors

Ефимова Татьяна Владимировна	канд. биол. наук, старший научный сотрудник Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
Efimova Tatiana Vladimirovna	tatyana-iefimova@yandex.ru Ph.D. (Biol.), Senior Researcher A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2 tatyana-iefimova@yandex.ru
Чурилова Татьяна Яковлевна	канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель НИЦ геоматики Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2 tanya.churilova@ibss-ras.ru

- Churilova
Tatiana Yakovlevna Ph.D. (Biol.), Leading researcher, Head of the geomatics research center
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2
tanya.churilova@ibss-ras.ru
- Моисеева
Наталья Андреевна** научный сотрудник
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
nataliya-moiseeva@yandex.ru
- Moiseeva
Nataliia Aleksandrovna Researcher
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2
nataliya-moiseeva@yandex.ru
- Скорород
Елена Юрьевна** научный сотрудник
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
elenaskorokhod@ibss-ras.ru
- Skorokhod
Elena Yur'evna Researcher
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2
elenaskorokhod@ibss-ras.ru
- Бучельников
Анатолий Сергеевич** канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории
молекулярной и клеточной биофизики
Севастопольский государственный университет
299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
старший научный сотрудник НИЦ геоматики
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
asbuchelnikov@sevsu.ru
- Buchelnikov
Anatoly Sergeevich Ph.D. (Phys.-Math.), Leading Researcher of the Laboratory of
Molecular and Cellular Biophysics
Sevastopol State University
299053, Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
Senior Researcher of the geomatics research center
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2
asbuchelnikov@sevsu.ru
- Бучельникова
Виктория Андреевна** младший научный сотрудник лаборатории молекулярной и
клеточной биофизики
Севастопольский государственный университет
299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
младший научный сотрудник НИЦ геоматики
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
viktoriya_salo@mail.ru
- Buchelnikova
Victoria Andreevna Junior researcher of the Laboratory of Molecular and Cellular
Biophysics
Sevastopol State University
299053, Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
Junior researcher of the geomatics research center
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2
viktoriya_salo@mail.ru

УДК 579.64: 612.014

Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Джавахия В.В., Глаголева Е.В., Гинаятов Н.С.,
Никифоров-Никишин А.Л., Карташов М.И., Увайдов М.М.

**ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «АКВАСПОРИН» НА
РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)**

Аннотация. В данной работе рассмотрено влияние пробиотического препарата «Акваспорин» на рыбоводно-биологические, биохимические, гематологические и гистологические показатели радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в условиях длительного опыта (90 суток). В результате опытного кормления было установлено достоверное увеличение скорости роста рыб в опытной группе (10,7 %), а также снижение кормового коэффициента до 1,07. Исследуемая кормовая добавка оказывала влияние на гематологические показатели, приводя к снижению числа моноцитов (до 2 %) и увеличению количества базофилов (до 4,2 %). Биохимический анализ крови рыб показал, что кормовая добавка приводила к увеличению показателей белкового обмена (общей белок, глобулин, альбумин), а также активности АЛТ и количества креатина. В свою очередь на гистологических препаратах кишечника было выявлено повышение встречаемости иммунокомпетентных клеток в слизистой оболочке. На срезах печени опытной группы рыб отмечено расширение синусоидных капилляров. Результаты эксперимента продемонстрировали, что кормовая пробиотическая добавка «Акваспорин» способствует улучшению продукционных показателей и стимуляции неспецифического иммунитета рыб, в условиях индустриальной аквакультуры.

Ключевые слова: радужная форель, пробиотики, кормовая добавка, размерно-весовые показатели, гематология, биохимия, гистология.

Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Dzhavakhiya V.V., Glagoleva E.V., Ginayatov N.S.,
Nikiforov-Nikishin A.L., Kartashov M.I., Uvaïdov M.M.

**INFLUENCE OF THE PROBIOTIC PREPARATION “AQUASPORIN” ON FISH-
BREEDING-BIOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND HISTOLOGICAL INDICATORS OF
RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)**

Abstract. This paper examines the effect of the probiotic preparation “Aquasporin” on fish-breeding-biological, biochemical, hematological and histological indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under long-term experimental conditions (90 days). As a result, of experimental feeding, a reliable increase in the growth rate of fish in the experimental group (10,7 %) was established, as well as a decrease in the feed coefficient to 1.07. The studied feed additive affected hematological parameters, leading to a decrease in the number of monocytes (up to 2 %) and an increase in the number of basophils (up to 4,2 %). Biochemical analysis of fish blood showed that the feed additive led to an increase in protein metabolism parameters (total protein, globulin, albumin), as well as ALT activity and the amount of creatine. In turn, histological preparations of the intestine revealed an increase in the occurrence of immunocompetent cells in the mucous membrane. In liver sections of the experimental group of fish, expansion of sinusoidal capillaries was noted. The results of the experiment demonstrated that the probiotic feed additive “Aquasporin” helps to improve production indicators and stimulate non-specific immunity of fish in industrial aquaculture.

Keywords: rainbow trout, probiotics, feed additive, size and weight parameters, hematology, biochemistry, histology.

Введение. Радужная форель является одним из наиболее популярных объектов аквакультуры по всему миру в виду высокой питательной ценности и качества получаемой

рыбной продукции [1]. Выращивание форели производится как в условиях садкового рыбоводства, так в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). При обоих способах культивации плотность посадки рыбы должна быть достаточно высокой для достижения экономической эффективности [2]. В таких условиях обеспечение здоровья рыбы возможно за счет четкого соблюдения технологических процессов, а также использования высококачественных кормов [3]. Корма должны быть не только сбалансированы по нутриентному составу, но также включать компоненты, повышающие устойчивость рыб к бактериальным заболеваниям и неблагоприятным гидрохимическим параметрам, вызванных накоплением метаболитов [4]. Это особенно актуально для интенсивного рыбоводства, в том числе в УЗВ.

Одним из способов повышения иммунитета рыбы и ускорения ее роста является использование в кормах биологически активных компонентов – пробиотических микроорганизмов моно- или поликомпонентного состава [5]. Отмечается, что пробиотические добавки, включающие несколько штаммов микроорганизмов, оказываются более эффективными, за счет синергического действия на желудочно-кишечный тракт рыбы [6]. В настоящее время практически все производители кормов для радужной форели используют в составе продукционных кормов те или иные пробиотические добавки. При этом при оценке их эффективности наиболее часто рассматриваются рыбоводно-биологические показатели, а физиологические и гистологические параметры организма рыбы остаются за рамками исследования. Применение более широкого спектра показателей при оценке физиологического действия пробиотиков позволяют выявить механизмы их воздействия как непосредственно на организм хозяина, так и на собственную микрофлору, участвующую в процессах пищеварения [7].

Радужная форель относится к объектам холодноводной аквакультуры, оптимальной температурой выращивания для которой является 14-18 °С. [2]. При таких температурах метаболическая активность части микроорганизмов значительно снижается. По этим причинам при разработке пробиотических препаратов для радужной форели необходимо отбирать штаммы устойчивые к действию низких температур [8]. В производстве кормов чаще всего используются спорообразующие микроорганизмы, способные сохранять свою микробиологическую активность в течении длительного срока. Таким требованиям соответствует пробиотические препараты на основе бактерий рода *Bacillus*, который включает огромное разнообразие видов и штаммов с различными свойствами [9, 10].

Целью исследования является оценка эффективности применения пробиотической добавки «Акваспорин» в кормах для молоди радужной форели по рыбоводно-биологическим, физиологическим и гистологическим показателям в ходе длительного опыта (90 суток).

Материалы и методы исследования

Объект исследования и условия содержания

Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) получена из рыбоводного хозяйства СССПОК «Белфорель» (Белгородская область) (икра Aquasearch OVA (Дания)), предварительно акклиматизировалась в условиях УЗВ в течение 14 суток. В период адаптации рыба содержалась в бассейнах УЗВ объемом 3000 л с системами механической (ЕЙСКПОЛИМЕР 402М) и биологической фильтрации с подменой 10% воды в сутки. Экспериментальная работа проводилась на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки (УНУ) НТИ РФ Рег. № 3662433 - «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» в центре «Аквакультуры» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

Для проведения экспериментов использовались 2 линии бассейнов объемом 750 литров. Каждая линия включает три экспериментальных емкости, механический фильтр, биофильтр объемом 500 л, а также УФ установки с подменой 10 % воды в сутки. Продолжительность опыта составила 90 суток. Контрольная и опытная группы разделялись на три повторности по 35 рыб в каждой, таким образом, каждая группа включала 105 особей. Температура воды в рыбоводных емкостях на начало опыта составила $17,36 \pm 0,71$ °С, водородный показатель рН –

7,8±0,2. Содержание кислорода не опускалось ниже 8 мг/л (в среднем 8,8±0,4 мг/л). Кормление производилось два раза в сутки. Ежедневно осуществлялся рыбоводный контроль по следующим параметрам: оценивалась активность рыбы, степень поедаемости корма и фиксировалась гибель.

Экспериментальные корма

В качестве контрольного корма использовались комбикорма производства AQUAREX для лососевых рыб «Форель рост» размером 3,5 мм. Было изготовлено две опытно-производственных партии кормов: (1) без добавления пробиотика – контроль; (2) с добавлением препарата «Акваспорин» в концентрации 200 г/т (2×10^6 КОЕ/г корма) – опыт. Препарат «Акваспорин» включает следующие штаммы микроорганизмов в равных соотношениях: *Bacillus subtilis* ВКМ В-3154 D, *B. licheniformis* ВКМ В-3172D и *B. subtilis* ВКМ В-3171D, а также полисахарид – мальтодекстрин. Нутриентный состав обоих кормовых рецептур был одинаковый (табл. 1). Все корма хранились в холодильной камере при температуре 4 °С.

Таблица 1 – Показатели экспериментальных кормов AQUAREX «Форель рост»

Показатель	3,5 мм
Перевариваемая энергия, МДж/кг	20,4
Сырой протеин, %	44
Сырой жир, %	23
Клетчатка, %	2,0
Зола, %	10
Лизин, %	2,1
Массовая доля фосфора, %	0,8
Массовая доля метионина и цистина, %	1,2
Витамин А, тыс. и.е./кг	10
Витамин Д3, тыс. и.е./кг	3
Витамин Е, мг/кг	200
Витамин С, мг/кг	250

Норма кормления рассчитывалась исходя из биомассы рыб и данных справочных таблиц, составленных производителем корма, и составила 2,3 % от массы рыбы. Корректировка нормы кормления производилась с учетом роста рыбы на 30 и 60 сутки опыта.

Рыбоводно-биологические показатели

Расчет размерно-весовых коэффициентов рыбы проводился в начале эксперимента для определения первичных норм кормления и корректировался каждые 30 суток эксперимента после контрольного взвешивания. Всего было произведено 3 контрольных замера (0, 30 и 60 сутки). Рыбоводно-биологические показатели радужной форели вычислялись во всех экспериментальных группах по следующим формулам (1-7) [11]:

$$\text{Относительная скорость роста (ОСР)} = \frac{W_f - W_s}{0,5 * (W_f + W_s)} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Удельная скорость роста (УСР)} = \frac{\log(W_f) - \log(W_s)}{N_t(\text{сут.})} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Кормовой коэффициент (КК)} = \frac{W_{df}(\text{сухого корма})}{WB_f - WB_s} \quad (3)$$

$$\text{Абсолютная скорость роста (АСР)} = \frac{L_f - L_s}{t} \quad (4)$$

$$\text{Коэффициент упитанности (КУ)} = \frac{W * 100}{L^3}, \quad (5)$$

$$\text{Среднесуточный прирост массы (СПМ)} = \frac{W_f - W_s}{t} \quad (6)$$

$$\text{Среднесуточная скорость роста (ССР)} = \frac{\text{СПМ}}{W_f} \quad (7)$$

где W_s и W_f – масса рыбы в начале и в конце эксперимента;
 WB_s и WB_f – биомасса рыбы в начале и в конце эксперимента;
 N_t – продолжительность эксперимента;
 W_{df} – количество израсходованного корма;
 L_s и L_f – длина рыбы в начале и в конце эксперимента;
 L – длина на момент измерения; t – продолжительность опыта.

Гематологическое исследование

Препараты крови исследуемых рыб изготавливались по стандартной методике Ивановой [12]. Препарат высушивался в течение 2-3 минут, далее фиксировался в смеси Никифорова (1:1, метиловый спирт: диэтиловый эфир) при экспозиции в течение 20 минут. После высыхания препаратов проводили окрашивание азур-эозином по Романовскому-Гимзе. Для этого в 190 мл буферного раствора (pH 7,0) добавляли 10 мл красителя. Препараты окрашивали в течение 10 минут. Полученные препараты трижды промывали в контейнерах с дистиллированной водой и высушивали в стерильных условиях в течение 30 минут. На готовых препаратах подсчитывались следующие клеточные элементы: относительное количество белых клеток крови (лейкоциты), относительное количество моноцитов, нейтрофилов, базофилов и тромбоцитов.

Биохимическое исследование

Параллельно отбору крови для приготовления гематологических препаратов производится отбор крови для биохимического анализа. Общий белок крови (TP) и альбумин (ALB) определялся согласно методам, описанным Reinhold [13]. Глобулин (GLOB) рассчитывался математически. Уровень глюкозы определялся с использованием специализированных наборов Bio-Merieux (Франция), согласно инструкции производителя. Аспартаминотрансферазу (ACT), аланинаминотрансферазу (АЛТ), креатинин (CREA), мочевины (UREA), глюкозу (GLUE), билирубин общий/прямой (BILT, BILD), лактат дегидрогеназу (ЛДГ) и щелочную фосфатазу (AP) в сыворотке определяли при помощи биохимического анализатора CS-T240 (Китай) с использованием готовых реактивов (наборов), поставляемых компанией Spinreact Co (Испания), следуя инструкциям производителя.

Гистологическое исследование

При отборе руководствовались биоэтическими рекомендациями, описанными в руководстве по уходу и использованию лабораторных животных (англ. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals) [14]. Во время патологоанатомического вскрытия рыб осуществлялся ихтиопатологический осмотр состояния основных органов (жабры, печень, кишечник, почки, селезенка, желчный пузырь).

Отбор проб тканей печени, среднего отдела кишечника осуществлялся у трех опытных рыб ($n = 3$) из каждой группы. Пробы ткани фиксировались в нейтральном растворе Боуэна в течение 12 часов, в дальнейшем они дегидратировались в ряду градуированных спиртов, очищались в ксилоле и заливались в парафин (55-58 °C). Микротомные срезы (3-4 мкм) окрашивались гематоксилином и эозином (H&E) и исследовались на световом микроскопе Olympus BX53 («Olympus Corporation», Япония) с окулярной приставкой Carl Zeiss ERc 5s («Zeiss», Германия) с использованием функциональных возможностей программного обеспечения ZEN lite («Zeiss», Германия). Приготовление и окраска гистологических препаратов осуществлялась согласно методике Suvarna [15].

Статистическая обработка

Данные сравнения анализируемых переменных представлены в виде средних \pm SD. Статистическая достоверность определялась с использованием непараметрических тестов

(Kruskal–Wallis test, U-тест Манна-Уитни) в зависимости от распределения данных и однородности вариаций (тесты Шапиро-Уилка и Левена). Значение $p < 0,05$ было принято, как статистически достоверное. Обработка статистических данных производилась с использованием GraphPad Prism version 9.0 software (GraphPad, San Diego, CA, USA) и R software (v3.5.2)/RStudio.

Результаты исследования и их обсуждение

Рыбоводно-биологические показатели

По окончании опытного кормления было выявлено, что опытная группа форели, получавшая в составе корма добавку «Акваспорин» достоверно превосходила показатели контрольной группы по ряду рыбоводно-биологических параметров (табл. 2). Конечная индивидуальная масса рыб в опытной группе составила 234,7 г, что на 10,7 % больше контроля ($p < 0,05$). Значимой разницы по показателю длины тела выявлено не было. Конечная биомасса в бассейне также значимо превосходила контрольную группу ($p < 0,05$). Добавления пробиотика позволило существенно ($p < 0,05$) снизить кормовой коэффициент, который в контроле составил 1,22, а в опыте 1,07. Важно отметить достоверное увеличение коэффициента упитанности в опытной группе, который был выше контроля на 6,1 % ($p < 0,05$). Достоверные различия также наблюдались по таким рыбоводно-биологическим параметрам как: относительная скорость роста, среднесуточный прирост массы и абсолютный/относительный прирост.

Таблица 2 – Рыбоводно-биологические показатели экспериментальных групп радужной форели за 0-90 сутки опыта

Показатель	Контроль	Опыт
Начальная масса, г	60,6±1,97	61,16±0,92
Конечная масса, г	211,93±9,06	234,74±3,44
Начальный размер, см	14,98±0,23	15,08±0,11
Конечный размер, см	23,56±0,15	23,92±0,3
Начальная биомасса, г	2121±69,09	2140,67±32,13
Конечная биомасса, г	6993,6±299	7746,3±113,4
Начальная биомасса всего, г	6363	6422
Конечная биомасса всего, г	20981	23239
Норма кормления, %	2,3	2,3
Кормовой коэффициент.	1,22±0,02	1,07±0,03
Коэффициент упитанности	1,62±0,08	1,72±0,04
Относительная скорость роста, г	1,11±0,01	1,17±0,02
Абсолютная скорость роста, см	0,1	0,1
Среднесуточный прирост массы, г	1,68±0,08	1,93±0,05
Абсолютный прирост, г	4872,6±237,5	5605,67±144,3
Относительный прирост, %	229,69±6,09	261,97±10,59
Среднесуточная скорость роста, %	0,79±0,01	0,82±0,01
Кол-во корма на 90 суток всего, г	17349,95	17556,58
Выживаемость, %	99	99

Примечание: Значение ($p < 0,05$) из теста Краскела – Уоллиса. Значения выделенные жирным показывают статистическую значимость между различными экспериментальными группами

Следует отметить, что по результатам клинического осмотра и патологоанатомического вскрытия рыбы в контрольной и опытной группе не имели видимых патологических изменений и обладали хорошей упитанностью. Гибель за все время опыта носила единичный характер.

Гематологические показатели

Клинический анализ форменных элементов крови на 90 сутки опыта позволил выявить

некоторые различия между опытной и контрольной группой (табл. 3). Было установлено значимое снижение числа моноцитов в опытной группе, до 2 % относительно других лейкоцитов ($p < 0,05$). Дополнительно установлено существенное увеличение базофилов ($p < 0,05$), количество которых в опытной группе составило 4,2 %. Значимых различий по другим гематологическим параметрам выявлено не было.

Таблица 3 – Гематологические показатели периферической крови радужной форели на 90 сутки опыта

Показатель	1724	1725
Общее число лейкоцитов, %	3,43±0,39	3,69±0,64
Лимфоцит, %	91,04±0,86	90,54±0,52
Моноцит, %	2,88±0,44	2,0±0,13
Нейтрофил, %	3,69±0,65	3,23±0,31
Базофил, %	2,39±0,69	4,23±0,28
Тромбоцит, %	1,48±0,3	1,69±0,3

Примечание: Значение ($p < 0,05$) из теста Краскела – Уоллиса. Значения выделенные жирным показывают статистическую значимость между различными экспериментальными группами

Биохимические показатели крови

В сравнении с контролем в опытной группе было выявлено изменения ряда биохимических показателей сыворотки крови радужной форели (табл. 4). Содержание аланинаминотрансферазы (АЛТ) в опыте составило 35,1 ед/л, что больше показателя контроля на 51,6 % ($p < 0,05$). Также было выявлено значительное увеличение содержания креатина, который составил в контроле и опыте 17 и 21,3 мкмоль/л, соответственно.

Дополнительно для опытной группы было выявлено повышение показателей белкового обмена, а именно общего белка, альбумина и глобулина ($p < 0,05$). Например, общий белок в опыте достоверно превышал содержание в контроле на 34 %. Другие исследуемые биохимические показатели крови не имели значимых различий.

Таблица 4 – Биохимические показатели сыворотки крови радужной форели на 90 сутки опыта

Показатель	Опытная группа	
	1724	1725
Билирубин общий (BILT), мкмоль/л	3,08±0,56	2,98±0,33
Билирубин прямой (BILD), мкмоль/л	0,35±0,06	0,3±0,08
АСТ (AST), ед/л	421,65±77,68	570,0±43,52
АЛТ (ALT), ед/л	23,2±3,75	35,18±6,48
Мочевина (UREA), мкмоль/л	2,32±0,33	2,58±0,2
Креатинин (CREA), мкмоль/л	17±1,08	24,33±4,64
Общий белок (TP), г/л	36,13±3,95	48,45±1,43
Альбумин (ALB), г/л	19,15±3,1	22,23±1,4
Щелочная фосфатаза (ALKP), ед/л	231,3±34,93	268,25±82,8
Глюкоза (GLUE), мкмоль/л	2,92±0,36	2,75±0,46
ЛДГ (LDH), ед/л	726,2±175,5	856,7±55,1
Глобулин (GLOB), г/л	16,98±1,42	26,23±1,85
Соотношение альбумин/глобулин	1,13±0,16	0,85±0,11

Примечание: Значение ($p < 0,05$) из теста Краскела – Уоллиса. Значения выделенные жирным показывают статистическую значимость между различными экспериментальными группами

Гистологическое исследование

Изучение гистологических препаратов среднего отдела кишечника и печени радужной форели по окончании опыта позволило выявить ряд морфологических различий между

контролем и опытом. Качественная оценка препаратов ткани кишечника показала отсутствие значимых нарушений, которые могли бы повлиять на функционирование желудочно-кишечного тракта (рис. 1, а).

Следует отметить, что в опытной группе в слизистой оболочке кишечника наблюдалось скопления интраэпителиальных лимфоцитов (рис. 1, б). При этом данные иммунокомпетентные клетки были распространены в эпителиальном слое, собственной пластинке и подслизистой основе слизистой оболочки (рис. 1, г). В контроле данная встречаемость данных клеток была существенно ниже, и они не образовывали заметных скоплений.

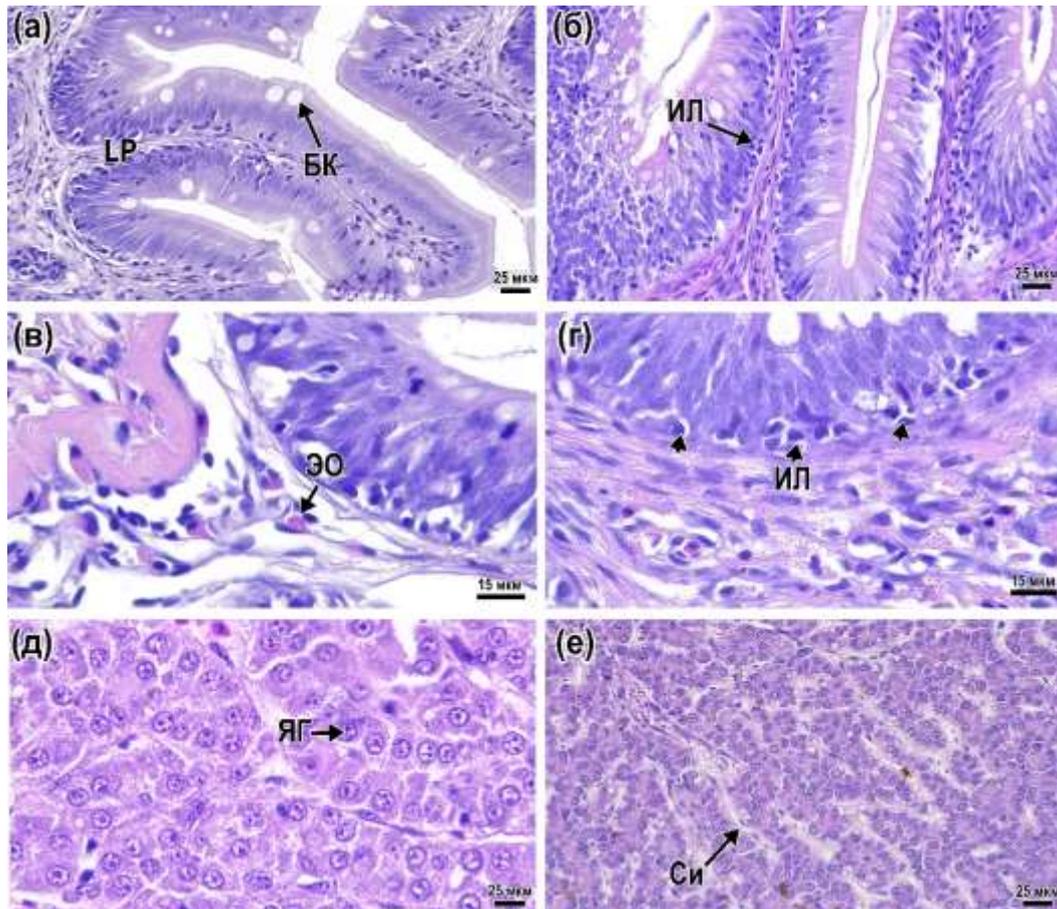


Рисунок 1 – Гистологические препараты кишечника (а-г) и печени (д, е) радужной форели на 90 сутки опыта контрольной (а, д) и опытной групп (б-г, е). Сокращения: LP – lamina propria, БК – бокаловидная клетка, ИЛ – интраэпителиальные лимфоциты, ЭО – эозинофильные клетки, ЯГ – ядро гепатоцита, Си – синусоидный капилляр Шкала масштаба 25 (а, б, д, е) и 15 мкм (в, г).

Дополнительно было выявлено увеличение встречаемости в опытной группе эозинофильных клеток, которые преимущественно располагались у основания ворсинок в области подслизистой оболочки (рис. 1, в). Данные клетки могли располагаться как по одиночке, так и небольшими скоплениями. В контрольной группе эозинофильные клетки также встречались в слизистой кишечника, однако их количество было существенно ниже.

В печени контрольной и опытной группы не обнаруживалось структурных нарушений ткани. На препаратах было четко различимы отдельные гепатоциты, разделяющие их синусоидные капилляры, а также желчные протоки (рис. 1, д). На всех исследуемых препаратах обнаруживались отдельные гепатоциты с небольшими округлыми вакуолями с ровными границами. Низкая распространенность вакуолизации не позволяет сделать вывод о дистрофических изменениях гепатоцитов. В печени опытной группы на отдельных участках

срезах отмечалось расширение синусоидных капилляров (рис. 1, е). При этом вблизи данных участков не наблюдалось признаков воспаления.

Из этого следует, что действия пробиотической добавки сопровождалось повышением встречаемости иммунокомпетентных клеток в слизистой кишечника, а также стимуляцией кровообращения в паренхиме печени, не приводя к возникновению существенных гистологических нарушений.

В проведенном исследовании было подтверждено положительное действие пробиотического препарата «Акваспорин» в составе кормов для радужной форели на ряд рыбоводно-биологических, физиологических и гистологических параметров, многие из которых коррелировали между собой. В частности, увеличение прироста рыбы и снижение кормового коэффициента может быть связано с ускорением белкового обмена, что подтверждается данными биохимического анализа крови. Ранее было показано, что «Акваспорин» положительно влияет на морфометрические показатели, способствует положительному изменению гематологических показателей у радужной форели, карпа и клариевого сома [8], а также улучшает морфометрические параметры карпа [16]. Пробиотические бактерии рода *Vaccilus* нашли широкое применение в аквакультуре, так как способны закрепляться в составе комменсального микробиома рыб, а также обладают выраженной антагонистической активностью [7, 17]. Положительное действие исследуемого набора микроорганизмов на разные виды рыб скорее всего является следствием его поликомпонентного состава и способностью колонизировать слизистую кишечника при разных температурах.

Выявленное в данной работе увеличение скорости роста радужной форели может быть связано с возможностью пробиотиков к увеличению активности симбиотического пищеварения за счет продуцирования пищеварительных ферментов и биологически активных метаболитов [5]. В частности, положительное влияние пробиотиков на активность ряда пищеварительных ферментов ранее уже отмечалось некоторыми исследователями [18, 19].

Одними из метаболитов, продуцируемых пробиотическими бактериями, являются короткоцепочечные жирные кислоты, которые могут использоваться энтероцитами кишечника в качестве источника энергии [6]. Метаболическая активность бактерий, а также модификации собственного микробиома кишечника, может приводить к развитию неспецифического иммунного ответа слизистой [20]. В данной работе увеличение иммунизации слизистой подтверждается повышением встречаемости иммунокомпетентных клеток (интраэпителиальные лимфоциты, эозинофильные клетки). В свою очередь снижение числа моноцитов и увеличение количества базофилов в крови рыб также указывает на развитие неспецифического иммунного ответа в ответ на присутствие в составе кормов пробиотических бактерий [21]. Вероятно, это способствует улучшению состояния и барьерной функции слизистой кишечника, что может препятствовать развитию бактериальных инвазий.

Результаты, полученные в данной работе, дают возможность утверждать, что пробиотическая кормовая добавка «Акваспорин» обладает доказанными физиологическим действием на организм радужной форели, ускоряя ее рост и способствуя повышению иммунитета. Желательно проведение дополнительных исследований по определению влияния пробиотического препарат на сопротивляемости рыб к бактериальным заболеваниям.

Выводы

1. Пробиотическая кормовая добавка «Акваспорин» приводит к достоверному увеличению скорости роста радужной форели (10,7 %) и снижению кормового коэффициента (до 1,07).

2. Изменения, наблюдаемые в морфологической картине крови, при применении исследуемой кормовой добавки выражались в снижении количества моноцитов (до 2 %) и увеличении относительного числа базофилов (до 4,2 %).

3. Исследуемая кормовая добавка приводит к значимому изменению показателей белкового обмена в сыворотки крови, увеличивая концентрацию общего белка (48,4 г/л), а также альбумина (22,2 г/л) и глобулина (26,2 г/л).

4. У радужной форели в тканях кишечника и печени отмечены характерные изменения, указывающие на формирование иммунного ответа слизистой и увеличении метаболической активности печени – расширение синусоидных капилляров печени, увеличение числа интраэпителиальных лимфоцитов, эозинофильных клеток в слизистой кишечника.

Благодарности. Статья подготовлена на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки НТИ РФ (Reg. № 3662433) «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» факультета Биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

Список использованной литературы:

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome. FAO. URL: <https://doi.org/10.4060/cc0461en> (дата обращения: 10.08.2024).
2. *Sirakov I., Ivancheva E.* Influence of stocking density on the growth performance of rainbow trout and brown trout grown in recirculation system // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2008. Vol. 14. № 2. P. 150–154.
3. *Nikiforov-Nikishin D., Antipov S., Kochetkov N., Nikiforov-Nikishin A., Bychkova T.* Evaluation of secretory activity in carp pancreatocytes (*Cyprinus carpio* L.) When using lactobacillusbased chelate and probiotic supplemental feed complexes // *Brazilian Journal of Biology*. 2023. Vol. 83. P. e250219. DOI: 10.1590/15196984.250219.
4. *Bregnballe J.* A guide to recirculation aquaculture. FAO. Eurofish International Organisation. 2022. URL: <https://eurofish.dk/PDF/Aguidetorecirculationaquaculture3rdeditionEN.pdf> (дата обращения: 10.08.2024).
5. *Langlois L., Akhtar N., Tam K.C., Dixon B., Reid G.* Fishing for the right probiotic: host–microbe interactions at the interface of effective aquaculture strategies // *FEMS Microbiology Reviews*. 2021. Vol. 45. № 6. P. fuab030.
6. *Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P.* Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish // *Frontiers in immunology*. 2021. Vol. 12. P. 653025.
7. *De Marco G., Cappello T., Maisano M.* Histomorphological changes in fish gut in response to prebiotics and probiotics treatment to improve their health status: A review // *Animals*. 2023. Vol. 13. № 18. P. 2860.
8. *Шадыева Л.А., Романова Е.М., Васильев А.В., Ахметова В.В.* Результативность использования пробиотика «Акваспорин» для хищных и травоядных видов рыб в индустриальной аквакультуре // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. Т. 4. № 64. С. 163–169.
9. *Yaderets V., Karpova N., Glagoleva E., Shibaeva A., Dzhavakhiya V.* Bacillus subtilis RBT7/32 and Bacillus licheniformis RBT11/17 as New Promising Strains for Use in Probiotic Feed Additives // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11. № 11. P. 2729. DOI: 10.3390/microorganisms11112729.
10. *Текебаева Ж.Б., Шахабаева Г.С., Сармурзина З.С., Бисенова Г.Н., Уразова М.С., Досова А.Д., Абжалелов А.Б.* Пробиотики и их применение в аквакультуре // *Новости науки Казахстана*. 2020. № 4. С. 170–185.
11. *Lugert V., Thaller G., Tetens J., Schulz C., Krieter J.* A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application // *Reviews in aquaculture*. 2016. Vol. 8. № 1. P. 30–42.
12. *Иванова Н.Т.* Атлас клеток крови рыб: сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 283 с.
13. *Reinhold J.G.* Standard methods in clinical chemistry. Academic Press: New York NY. USA. 1952. Vol. 1. P. 88–89.

14. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. National Academies Press: Washington. DC. USA. 2011.
15. *Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D.* Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques // Elsevier Health Sciences. 2018. 672 p.
16. *Любомирова В.Н., Романова Е.М., Романов В.В., Васильев А.В.* Оценка эффективности использования кормовой добавки «Акваспорин» при выращивании карпа в условиях индустриальной аквакультуры // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1 (65). С. 178–184.
17. *Simakov Y. G., Ponomarev A.K., Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I.* Histological examination of the young *Oncorhynchus mykiss* intestines using the feed with chelated and probiotic supplements // Brazilian Journal of Biology. 2024. Vol. 84. DOI: 10.1590/15196984.265121.
18. *Adeoye A.A., Yomla R., Jaramillo-Torres A., Rodiles A., Merrifield D. L., Davies S.J.* Combined effects of exogenous enzymes and probiotic on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth, intestinal morphology and microbiome // Aquaculture. 2016. Vol. 463. P. 61–70.
19. *Ramos M.A., Goncalves J.F., Costas B., Batista S., Lochmann R., Pires M.A., Ozorio R.O.* Commercial *Bacillus* probiotic supplementation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*): growth, immune responses and intestinal morphology // Aquaculture Research. 2017. Vol. 48. № 5. P. 2538–2549.
20. *Fang C., Ma M., Ji H., Ren T., Mims S.D.* Alterations of digestive enzyme activities, intestinal morphology and microbiota in juvenile paddlefish, *Polyodon spathula*, fed dietary probiotics // Fish physiology and biochemistry. 2015. Vol. 41. P. 91–105.
21. *Пронина Г.И.* Влияние иммуномодуляции пробиотиками на иммунофизиологический статус объектов аквакультуры // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 4. С. 37–42.

References:

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. (In English). Available at: <https://doi.org/10.4060/cc0461en> (accessed 10.08.2024).
2. *Sirakov I., Ivancheva E.* Influence of stocking density on the growth performance of rainbow trout and brown trout grown in recirculation system. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2008, vol. 14, no. 2, pp. 150–154. (In English).
3. *Nikiforov-Nikishin D., Antipov S., Kochetkov N., Nikiforov-Nikishin A., Bychkova T.* Evaluation of secretory activity in carp pancreatocytes (*Cyprinus carpio* L.) When using lactobacillusbased chelate and probiotic supplemental feed complexes. *Brazilian Journal of Biology*, 2023, Vol. 83, p. e250219. DOI: 10.1590/15196984.250219. (In English).
4. *Bregnballe J.* A guide to recirculation aquaculture. FAO. *Eurofish International Organisation*. 2022. (In English). Available at: <https://eurofish.dk/PDF/Aguidetorecirculationaquaculture3rdeditionEN.pdf> (accessed 10.08.2024).
5. *Langlois L., Akhtar N., Tam K.C., Dixon B., Reid G.* Fishing for the right probiotic: host-microbe interactions at the interface of effective aquaculture strategies. *FEMS Microbiology Reviews*, 2021, vol. 45, no. 6, p. fuab030. (In English).
6. *Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P.* Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish. *Frontiers in immunology*, 2021, vol. 12, p. 653025. (In English).
7. *De Marco G., Cappello T., Maisano M.* Histomorphological changes in fish gut in response to prebiotics and probiotics treatment to improve their health status: A review. *Animals*, 2023, vol. 13, no. 18, p. 2860. (In English).
8. *Shadyeva L.A., Romanova Ye.M., Vasil'yev A.V., Akhmetova V.V.* Rezul'tativnost' ispol'zovaniya probiotika «Akvasporin» dlya khishchnykh i travoyadnykh vidov ryb v industrial'noy akvakult'ure [Efficiency of using the probiotic “Aquasporin” for predatory and

- herbivorous fish species in industrial aquaculture]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2023, vol. 4, no. 64, pp. 163–169. (In Russian).
9. Yaderets V., Karpova N., Glagoleva E., Shibaeva A., Dzhavakhiya V. Bacillus subtilis RBT7/32 and Bacillus licheniformis RBT11/17 as New Promising Strains for Use in Probiotic Feed Additives. *Microorganisms*. 2023, vol. 11, no. 11, pp. 27–29. (In English). DOI: 10.3390/microorganisms11112729.
 10. Tekebaeva J.B., Shakhbayeva G.S., Sarmurzina Z.S., Bisenova G.N., Urazova M.S., Dosova A.D., Abzhalelov A.B. Probiotiki i ikh primeneniye v akvakul'ture [Probiotics and their application in aquaculture]. *Novosti nauki Kazakhstana* [News of Science of Kazakhstan], 2020, no. 4, pp. 170–185. (In Russian).
 11. Lugert V., Thaller G., Tetens J., Schulz C., Krieter J. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Reviews in aquaculture*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 30–42. (In English).
 12. Ivanova N.T. *Atlas kletok krovi ryb: sravnitel'naya morfologiya i klassifikatsiya formennykh elementov krovi ryb* [Atlas of fish blood cells: comparative morphology and classification of formed elements of fish blood]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1983, 283 p. (In Russian).
 13. Reinhold J.G. *Standard methods in clinical chemistry*. Academic Press, New York NY, USA, 1952, vol. 1, pp. 88–89. (In English).
 14. *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*. National Academies Press, Washington, DC, USA, 2011. (In English).
 15. Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques. *Elsevier Health Sciences*, 2018, 672 p. (In English).
 16. Lyubomirova V.N., Romanova Ye.M., Romanov V.V., Vasil'yev A.V. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya kormovoy dobavki «Akvasporin» pri vyrashchivanii karpa v usloviyakh industrial'noy akvakul'tury [Evaluation of the efficiency of using the feed additive "Aquasporin" in growing carp in industrial aquaculture]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2024, vol. 65, no. 1, pp. 178–184. (In Russian).
 17. Simakov Y. G., Ponomarev A.K., Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I. Histological examination of the young *Oncorhynchus mykiss* intestines using the feed with chelated and probiotic supplements. *Brazilian Journal of Biology*, 2024, vol. 84. (In English). DOI: 10.1590/15196984.265121.
 18. Adeoye A.A., Yomla R., Jaramillo-Torres A., Rodiles A., Merrifield D.L., Davies S.J. Combined effects of exogenous enzymes and probiotic on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth, intestinal morphology and microbiome. *Aquaculture*, 2016, vol. 463, pp. 61–70. (In English).
 19. Ramos M.A., Goncalves J.F., Costas B., Batista S., Lochmann R., Pires M.A., Ozorio R.O. Commercial Bacillus probiotic supplementation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*): growth, immune responses and intestinal morphology. *Aquaculture Research*, 2017, vol. 48, no. 5, pp. 2538–2549. (In English).
 20. Fang C., Ma M., Ji H., Ren T., Mims S.D. Alterations of digestive enzyme activities, intestinal morphology and microbiota in juvenile paddlefish, *Polyodon spathula*, fed dietary probiotics. *Fish physiology and biochemistry*, 2015, vol. 41, pp. 91–105. (In English).
 21. Pronina G.I. Vliyaniye immunomodulyatsii probiotikami na immunofiziologicheskiy status ob'yektov akvakul'tury [The influence of immunomodulation with probiotics on the immunophysiological status of aquaculture objects]. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* [Veterinary Science, Animal Science and Biotechnology], 2019, no. 4, pp. 37–42. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

- Никифоров-Никишин Дмитрий Львович** канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник Центра аквакультуры Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ) 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73 niknikdl@rambler.ru
- NikiforovNikishin Dmitry Lvovich Ph.D. (Biol.), Leading Researcher of the Center Aquaculture Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (FCU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 niknikdl@rambler.ru
- Кочетков Никита Ильич** младший научный сотрудник Центра аквакультуры Факультета биотехнологий и рыбного хозяйства Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ) 109004, Москва, ул. Земляной Вал, 73 samatrixs@gmail.com
- Kochetkov Nikita Ilyich Junior Researcher, Aquaculture Center, Faculty of Biotechnology and Fisheries Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (FCU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 samatrixs@gmail.com
- Джавахия Вахтанг Витальевич** канд. биол. наук, генеральный директор ООО «Иннагро» 127051, г. Москва Цветной бул., 30, стр. 1 vahoru@mail.ru
- Dzhavakhiya Vakhtang Vitalievich Ph.D. (Biol.), General Director Innagro LLC 127051, Moscow Tsvetnoy blvd., 30, building 1 vahoru@mail.ru
- Глаголева Елена Викторовна** зам. руководителя биотехнологического направления ООО «Иннагро» 127051, г. Москва Цветной бул., 30, стр. 1 glagolevaev@mail.ru
- Glagoleva Elena Viktorovna Deputy Head of Biotechnology Department Innagro LLC 127051, Moscow Tsvetnoy Blvd., 30, building 1 glagolevaev@mail.ru
- Гинаятов Нурбек Сатканулы** канд. биол. наук Лаборатория биотехнологии и диагностики инфекционных болезней Испытательный центр НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» 090009, Республика Казахстан, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51 nginayatov@mail.ru
- Ginayatov Nurbek Satkanuly Ph.D. (Biol.) Laboratory of Biotechnology and Diagnostics of Infectious Diseases Testing Center NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical

Никифоров-Никишин Алексей Львович	University named after Zhangir Khan” 090009, Republic of Kazakhstan, Uralsk, Zhangir Khan str., 51 nginayatov@mail.ru д-р биол. наук, декан факультета биотехнологий и рыбного хозяйства Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ) 109004, Москва, ул. Земляной Вал, 73 9150699@mail.ru
NikiforovNikishin Aleksey Lvovich	Dr. Sci. (Biol.), Professor, Dean of the Faculty of Biotechnology and Fisheries Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky (FCU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 9150699@mail.ru
Карташов Максим Игоревич	канд. биол. наук, эксперт по биотехнологиям ООО «Иннагро» 127051, г. Москва Цветной бул., 30, стр. 1 maki505@mail.ru
Kartashov Maxim Igorevich	Ph.D. (Biol.), biotechnology expert Innagro LLC 127051, Moscow Tsvetnoy Blvd., 30, building 1 maki505@mail.ru
Увайдов Максим Максимович	Руководитель направления по взаимодействию с ключевыми клиентами ООО «Иннагро» 127051, г. Москва Цветной бул., 30, стр. 1 mmu@innagro.ru
Uvaidov Maksim Maksimovich	Head of Key Client Relations Innagro LLC 127051, Moscow Tsvetnoy Blvd., 30, building 1 mmu@innagro.ru

УДК 551.464.797.9:535.37-022.1

Моисеева Н.А., Чурилова Т.Я., Скороход Е.Ю., Салюк П.А., Ефимова Т.В., Давыдова Д.Г.,
Саушева А.А., Самойлов М.А.

**СВЯЗЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА А С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ
ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ ПОГРУЖНЫМ ЗОНДОМ В
ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАМЧАТКИ**

Аннотация. Исследования проведены в прибрежной акватории Камчатки в августе-сентябре 2023 года. В пределах освещенного слоя наблюдалась стратификация вод, вследствие чего было выделено 3 слоя, различающихся по условиям существования фитопланктона (свет, температура): верхний квазиоднородный слой, термоклин, слой между термоклином и нижней границей зоны фотосинтеза. Показано изменение функциональных характеристик фитопланктона (удельного показателя поглощения света пигментами фитопланктона и квантового выхода флуоресценции) по исследованным слоям, что приводит к изменению коэффициента связи концентрации хлорофилла *a* с интенсивностью флуоресценции, регистрируемой погружным зондом. Использование единого коэффициента для всего слоя фотосинтеза ведет к неточной оценке концентрации хлорофилла *a* по данным интенсивности флуоресценции.

Ключевые слова: хлорофилл *a*, флуоресценция, WetStar W535-1246, поглощение света пигментами фитопланктона, прибрежные воды Камчатки

Moiseeva N.A., Churilova T.Ya., Skorokhod E.Yu., Salyuk P.A., Efimova T.V., Davydova D.G.,
Sausheva A. A., Samoilov M. A.

**RELATIONSHIP CHLOROPHYLL A CONCENTRATION VS. CHLOROPHYLL A
FLUORESCENCE MEASURED WITH A SUBMERSIBLE SENSOR IN THE COASTAL
WATERS NEAR KAMCHATKA**

Abstract. The research was carried out in the coastal waters near Kamchatka in August-September 2023. within the euphotic zone, 3 water layers were observed: the upper mixed layer, the thermocline and the layer between the thermocline and the bottom of the euphotic zone. These 3 water layers differed in the environmental conditions: light and temperature. The phytoplankton photosynthetic parameters (chlorophyll *a* specific light absorption coefficient and fluorescence quantum yield) changed in different water layers, which led to a change in the coefficient of correlation between chlorophyll *a* concentration and chlorophyll *a* fluorescence measured with a submersible sensor. The use of a unified correlation coefficient for samples from the entire water column within the euphotic zone leads to an inaccurate assessment of chlorophyll *a* concentration based on fluorescence measurements.

Keywords: chlorophyll *a*, fluorescence, WetStar W535-1246, coefficient of light absorption by phytoplankton, coastal waters near Kamchatka

Введение. Данные о концентрации фотосинтетически активного пигмента хлорофилла *a* (Chl-*a*) являются основой для оценки биомассы фитопланктона и первичной продукции акватории. Наиболее точными методами определения Chl-*a* являются спектрофотометрический метод [1, 2], основанный на характерных полосах поглощения света молекулой хлорофилла в экстракте пигментов, и метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [3]. Однако эти методы требуют длительного времени (пробоподготовка, экстракция пигментов), дорогостоящего оборудования и квалифицированных специалистов для выполнения измерений. В связи с этим в отдельных исследованиях используют наиболее простой контактный метод определения Chl-*a* по интенсивности флуоресценции хлорофилла *a*, измеряемой с помощью погружных флуориметров или самостоятельно дрейфующих буев. Метод количественной оценки Chl-*a*

по флуоресценции основан на поглощении света молекулой хлорофилла *a* [2] и его флуоресценции [4].

Независимо от производителя, все приборы для измерения флуоресценции *in vivo* созданы на основе общих принципов [5]. Проба воды освещается светом высокой интенсивности (около 5000 мкЭ·м⁻²·с⁻¹ в сине-зеленой области спектра), который поглощается вспомогательными пигментами и хлорофиллом *a*. Поглощенная энергия света используется на конкурирующие процессы: фотосинтез, преобразование части энергии в тепло и флуоресценцию [6]. Молекула хлорофилла *a* флуоресцирует в красной области спектра (~685 нм) [7]. Интенсивность флуоресценции (F) регистрируется датчиком в необработанной аналоговой или цифровой форме в относительных единицах и в дальнейшем калибруется по стандарту для преобразования выходного сигнала F в единицы концентрации хлорофилла *a* (мг·м⁻³) или F остается в относительных единицах.

Величина F зависит от количества квантов света, поглощенных фитопланктоном, и от способности фитопланктона использовать энергию поглощенных квантов в процессе фотосинтеза (фотохимическое тушение), выделять в виде тепла (нефотохимическое тушение) или флуоресценции [7]:

$$F = E_{\lambda_{ex}} \cdot Chl - a \cdot a_{ph}^*(\lambda_{ex}) \cdot Q_a^* \cdot \varphi_F, \quad (1)$$

где λ_{ex} – длина волны (около 450 нм) излучения, возбуждающего флуоресценцию;

$E_{\lambda_{ex}}$ – интенсивность излучения на длине волны λ_{ex} , возбуждающего флуоресценцию, мкЭ·м⁻²·с⁻¹;

$a_{ph}^*(\lambda_{ex})$ – удельный (нормированный на Chl-*a*) показатель поглощения света пигментами фитопланктона на длине волны λ_{ex} , м²·мг⁻¹;

φ_F – квантовый выход флуоресценции, (моль испускаемых фотонов (моль поглощенных фотонов)⁻¹);

Q_a^* – коэффициент внутриклеточной реабсорбции флуоресценции.

При измерении F на флуориметре величина энергии возбуждения является постоянной [8]. Заводская калибровка погружных датчиков подразумевает прямо пропорциональную связь интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* с его концентрацией (F – Chl-*a*) [9], и выполняется путем измерения флуоресценции *in vivo* и концентрации хлорофилла *a* в ацетоновых экстрактах для серии разведений [10]. В этом случае величины $a_{ph}^*(\lambda_{ex})$, Q_a^* и φ (уравнение 1) принимаются постоянными и используются как калибровочный коэффициент связи F – Chl-*a*, и уравнение 1 принимает вид:

$$F = A \cdot Chla - b \quad (2)$$

где *b* – фоновая величина, связанная с флуоресценцией окрашенного растворенного органического вещества (F_{CDOM}); *A* – коэффициент, который отражает способность фитопланктона поглощать свет на длине волны, соответствующей возбуждающему излучению, и преобразовывать поглощенные кванты света в энергию флуоресценции: $A = a_{ph}^*(450) \cdot Q_a^* \cdot \varphi_F$. Калибровка датчиков флуоресценции предполагает постоянство связи F – Chl-*a*, а следовательно, постоянство коэффициентов в уравнении 2. Однако, параметры, определяющие значения коэффициента *A*, не являются постоянными величинами. Коэффициент реабсорбции Q_a^* изменяется почти в два раза (от 0,66 до 1) в зависимости от видовой структуры фитопланктона [11]. Изменчивость величины $a_{ph}^*(\lambda)$ обусловлена степенью упаковки пигментов в клетках, которая зависит от пигментного состава и концентрации пигментов в клетках, а также размерной структуры фитопланктонного сообщества [12], которые изменяются в результате адаптации фитопланктона к условиям среды [13]. Величина φ_F изменяется в зависимости от факторов

среды (световой истории, биогенной обеспеченности и температуры) и видового состава фитопланктона [14–17].

Цель исследования состояла в оценке влияния удельного показателя поглощения света пигментами фитопланктона и квантового выхода флуоресценции на связь концентрации хлорофилла *a* с интенсивностью флуоресценции, регистрируемую погружным флуориметром в прибрежной акватории полуострова Камчатка.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в прибрежной акватории полуострова Камчатка (рис. 1) в ходе научной экспедиции на ПС «Профессор Мультиановский» 23/4 (15 августа – 20 сентября 2023 г.). Пробы отбирали с помощью кассеты батометров с нескольких горизонтов в пределах зоны фотосинтеза, которые выбирали исходя из вертикального распределения температуры и солености, регистрируемых STD зондом (SeaBird). Профиль интенсивности флуоресценции хлорофилла *a* измеряли с помощью погружного зонда WetStar W535-1246. Нижнюю границу верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) оценивали по критериям связанным с изменениями значений абсолютной разности потенциальной температуры ($0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) и плотности воды ($0,03\text{ кг/м}^3$) в соответствии с [18]. Глубину зоны фотосинтеза (*Zeu*) определяли по ослаблению в 100 раз фотосинтетически активной радиации (ФАР) [19]. Измерение ФАР проводили погружным спектрометрическим прибором RAMSES (TrioS, Germany).

Chl-*a* определяли спектрофотометрическим методом [1]. Сразу после отбора пробы воды (1,5 л) фильтровали через стекловолокнистые фильтры (GF/F, Whatman) при вакууме $<0,2$ атм. Пигменты фитопланктона экстрагировали в растворе ацетона (90 %) используя двукратный ступенчатый подход. Оптическую плотность (OD) экстракта пигментов измеряли в диапазоне длин волн 350–750 нм (с шагом в 1 нм) на двухлучевом спектрофотометре Lambda 35 (Perkin Elmer).

Спектральные показатели поглощения света пигментами фитопланктона измеряли по методике «Wet Filters Technics» [20] в соответствии с современным протоколом [21]. OD взвешенного вещества на фильтре измеряли с шагом в 1 нм в диапазоне длин волн от 350 до 750 нм с помощью двухлучевых спектрофотометров, оснащенных интегрирующей сферой: Lambda 35 (Perkin Elmer) (пробы из Тихого океана) и UV-2600 UV-VIS Spectrophotometer (Shimadzu) (пробы из Охотского моря). Разделение общей взвеси на пигменты фитопланктона и неживую взвесь проводили путем экстракции пигментов горячим метанолом, в соответствии с методикой [22].

Интенсивность флуоресценции хлорофилла *a* измеряли используя лабораторный флуориметр Smart [23]. Для насыщения флуоресценции используется вспышка излучения на длине волны 450 нм с плотностью потока квантов $5000\text{ мкЭ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Предварительная темновая адаптация проб проводилась в течение 30 минут [7], после которой измеряли параметры *F* при открытых (F_0) и закрытых (F_m) РЦ ФС 2 [24].

Значения F_{CDOM} вычитали из флуоресценции пробы, чтобы получить *F* хлорофилла *a*. Для определения F_{CDOM} пробы морской воды фильтровали при вакууме $<0,2$ атм через нуклеопоровый фильтр с диаметром пор 0,2 мкм (Nuclepore, Sartorius), предварительно промытый деионизированной водой [25].

Нормальность распределения вариантов в выборке оценивали по критериям Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова. Для сравнения групп данных и выявления статистически значимых различий между ними применялся ранговый критерий Краскела-Уоллеса для уровня значимости $\alpha = 0,05$. Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Statistica 12. Рисунки были построены с помощью программного обеспечения QGIS Desktop 3.8.0 и Grapher v.11.

Результаты исследования и их обсуждение. Нами были исследованы гидрологические условия существования фитопланктона. Все работы проводились в светлое время суток с 8:30 до 17:00. Глубина зоны фотосинтеза изменялась от 10 м в Авачинской бухте до 35 м в Охотском море. Температура воды в поверхностном слое изменялась от $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Более теплые воды наблюдались в прибрежных водах Тихого океана: температура воды в

поверхностном слое изменялась от 10 °С до 16 °С, и в среднем составляла $13,8 \pm 1,5$ °С. В прибрежных водах Охотского моря температура воды в поверхностном слое была ниже, чем в водах Тихого океана, и изменялась от 7,5 до 12,9 °С, составляя в среднем $10,4 \pm 1,7$ °С. Соленость в поверхностных водах Охотского моря изменялась незначительно (30,5–32,5 ‰, в среднем $32,2 \pm 0,4$ ‰), а в прибрежных водах Тихого океана наблюдалось более сильное распреснение, что связано с активным береговым стоком. Так, наименьшие значения солености на поверхности моря были зафиксированы в Авачинской губе (23 ‰), а наивысшие – в прибрежных водах Тихого океана, омывающих Камчатку в юго-восточной части (31,9 ‰), составляя в среднем $30,2 \pm 1,4$ ‰. Прогрев поверхностных вод в условиях слабого ветрового перемешивания сопровождался формированием на большинстве станций верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), отделенного термоклином (ТК) от нижней зоны фотосинтеза. ВКС изменялся от 2 до 25 м, в среднем составляя 9 ± 6 м. На 11 станциях в Тихом океане и на одной станции в Охотском море не наблюдался сформированный ВКС.

Таким образом, анализ полученных данных проводили по выделенным слоям, различающимся по условиям существования фитопланктона (температура, свет):

1. ВКС.
2. ТК.
3. Слой воды между ТК и нижней границы зоны фотосинтеза (слой «ТК – 1 % ФАР»).

Световые условия существования фитопланктона различались между станциями. Значения Z_{eu} изменялись практически на порядок (4–32 м), в среднем составляя 20 ± 5 м. Наименьшие значения зафиксированы на станциях в Авачинской губе, бухтах Жировая и Русская, в районе Халактырского пляжа на восточном побережье полуострова Камчатка, и в районе поселка Озерновский на западном побережье полуострова Камчатка (рис. 1, слева). Соотношение ВКС к Z_{eu} изменялось между станциями от 0,1 до 2,1 (рис. 1, справа). Таким образом, световые условия существования фитопланктона в слое ВКС были различны. Фитопланктонное сообщество адаптировалось к средней величине ФАР в слое ВКС. В узком (относительно зоны фотосинтеза) слое ВКС фитопланктонное сообщество адаптировалось к более высоким средним величинам ФАР, чем в случае, когда ВКС был соизмерим с Z_{eu} .

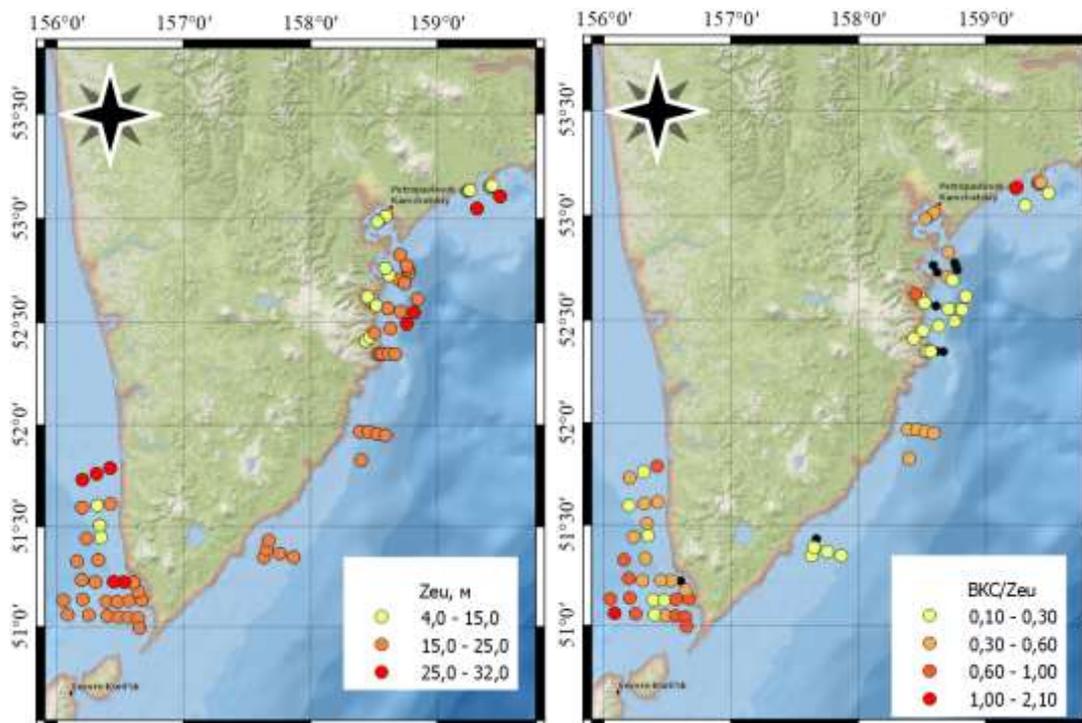


Рисунок 1 – (слева) – Глубина зоны фотосинтеза (Z_{eu}); (справа) – Изменение соотношения глубины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) к Z_{eu} в прибрежных водах Камчатского полуострова, 15 августа – 20 сентября 2023 г. ● – станции без сформированного ВКС

Связь F , регистрируемых погружным зондом ($F_{CTD-initial}$) с $Chl-a$, измеренной спектрофотометрическим методом, по всем выделенным слоям представлена на рисунке 2:

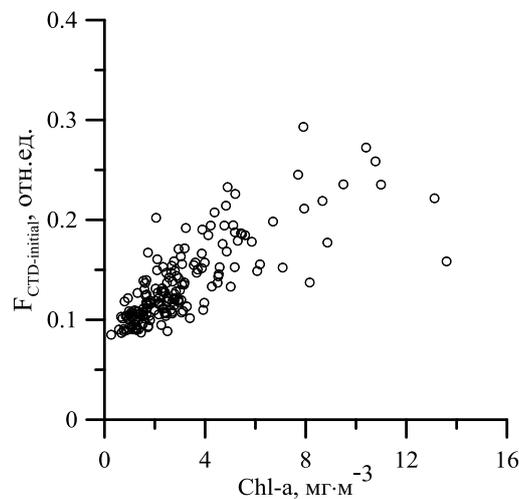


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности флуоресценции хлорофилла a , измеренной погружным зондом ($F_{CTD-initial}$), от концентрации хлорофилла a , измеренной спектрофотометрическим методом ($Chl-a$), для выделенных слоев водных масс в прибрежных водах полуострова Камчатка, 15 августа – 20 сентября 2023 г.

На рисунке 2 показано, что при концентрациях хлорофилла a , стремящихся к нулю, сигнал флуоресценции достаточно высокий. Такая ситуация, когда значения $Chl-a$ были около 0, а значения $F_{CTD-initial}$ составляли $\sim 0,08$ отн. ед., наблюдалась ниже Z_{eu} и практически до дна (рис. 3). С целью дополнительной коррекции данных $F_{CTD-initial}$ на F , не связанную с хлорофиллом a , из $F_{CTD-initial}$ вычитали значения F , измеренные глубже Z_{eu} . Значения, полученные в результате этой коррекции, обозначены как F_{CTD} .

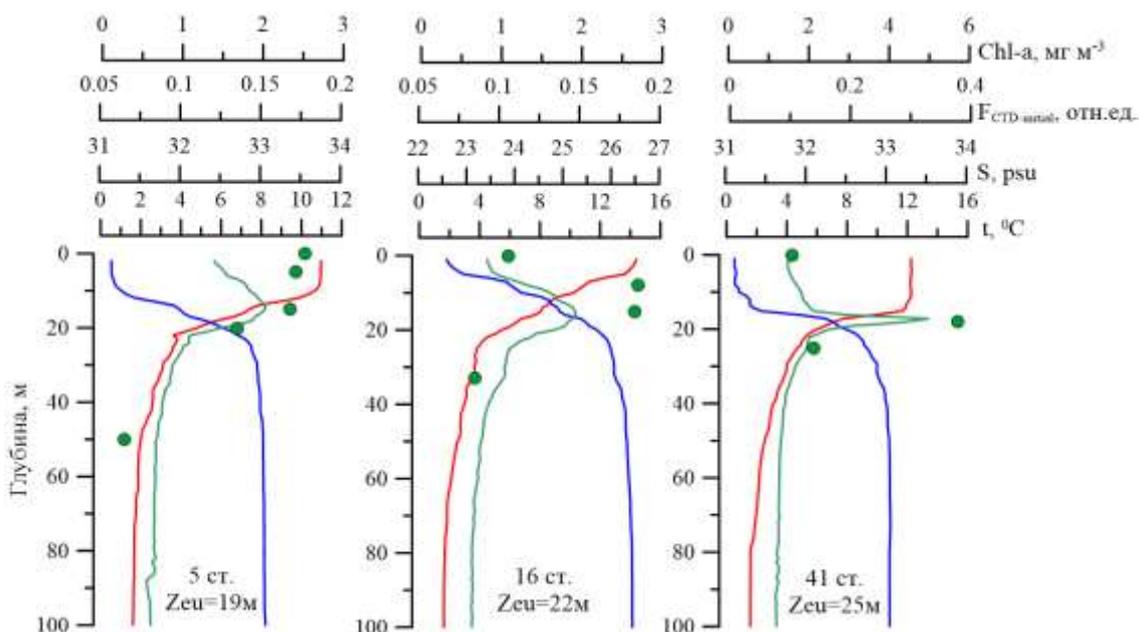


Рисунок 3 – Вертикальное распределение температуры (T , красная линия), солёности (S , синяя линия), интенсивности флуоресценции, регистрируемой погружным зондом ($F_{CTD-initial}$, зеленая линия), и концентрации хлорофилла a , измеренной спектрофотометрическим методом ($Chl-a$, зеленый круг) на отдельных станциях в прибрежных водах полуострова Камчатка, 15 августа – 20 сентября 2023 г.

На рисунке 4 представлены зависимости $F_{\text{СТД}}$ (А) и флуоресценции, измеренной лабораторным флуориметром (F_0) (Б) от Chl-а по выделенным слоям. Связь $F_{\text{СТД}}$ и F_0 от Chl-а описывается уравнением прямой пропорциональности, коэффициенты связи – $A_{F-\text{СТД}}$ и A_{F-0} , соответственно. Так, статистически значимые различия величин отношения $F_{\text{СТД}}$ к Chl-а были отмечены для ВКС по отношению к слою ТК и слою ТК – 1 % ФАР (рис. 3А). При этом для слоёв ТК и ТК – 1 % ФАР статистически значимой разницы величины коэффициентов А не отмечено ($p = 0,62$).

Изменчивость в связи $F - \text{Chl-а}$ определяется вариабельностью $a_{ph}^*(450)$ и φ_F (уравнение 1) в зависимости от условий существования фитопланктона.

Связь показателей $a_{ph}(450)$ с Chl-а описывается степенной зависимостью [26]:

$$a_{ph}(450) = A_{aph} \cdot (\text{Chl-а})^b \quad (3)$$

Изменчивость связи между $a_{ph}(450)$ и Chl-а отражает изменение величины $a_{ph}^*(450)$ по выделенным слоям (рис. 5А). Статистически значимые различия между коэффициентами в уравнениях зависимостей $a_{ph}(450)$ от Chl-а были установлены для фитопланктона, существующего в трех выделенных слоях в пределах зоны фотосинтеза. Эти различия обусловлены адаптацией фитопланктонного сообщества к разным световым условиям существования.

Коэффициент связи F_0 с $a_{ph}(450)$ (A_{F-aph}) характеризует квантовый выход флуоресценции (уравнение 1) в выделенных слоях (рис. 5 Б). Коэффициенты полученных связей для всех исследуемых слоев представлены в таблице 1. Статистически значимые различия коэффициентов А в уравнении отмечены только между слоями ТК и ТК – 1 % ФАР ($p = 0,032$).

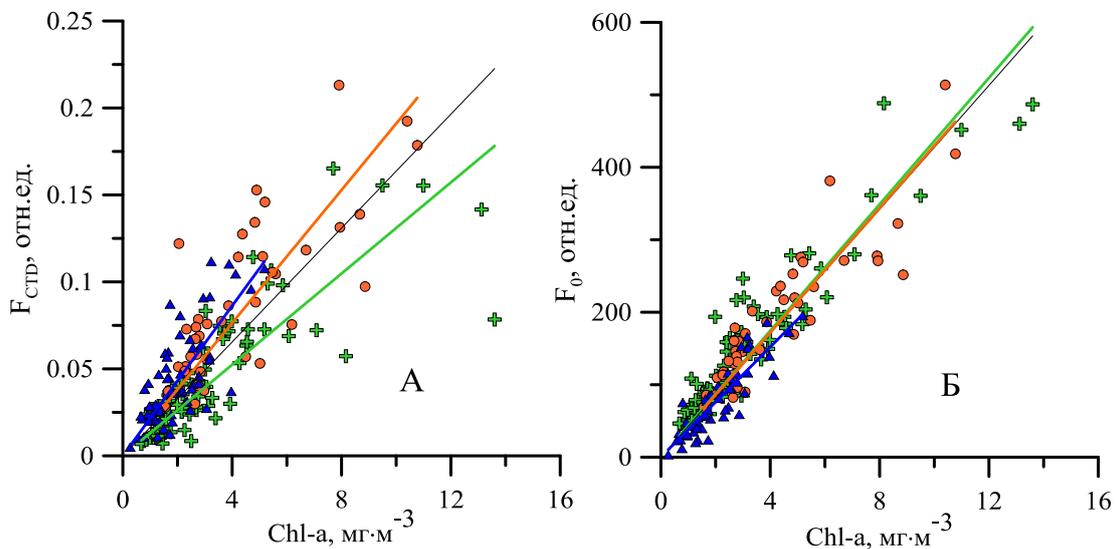


Рисунок 4 – Связь интенсивности флуоресценции хлорофилла a , измеренной погружным зондом, после коррекции на фоновую флуоресценцию ($F_{\text{СТД}}$) (А) и интенсивности флуоресценции хлорофилла a , измеренной лабораторным флуориметром (F_0) (Б), с концентрацией хлорофилла a , измеренной спектрофотометрическим методом (Chl-а), по выделенным слоям (+ – ВКС, ● – ТК, ▲ ТК – 1 % ФАР) в прибрежных водах Камчатки, 15 августа – 20 сентября 2023 г.: цветными линиями представлены уравнения регрессии по соответствующим слоям, черная линия – усреднение по всем слоям,

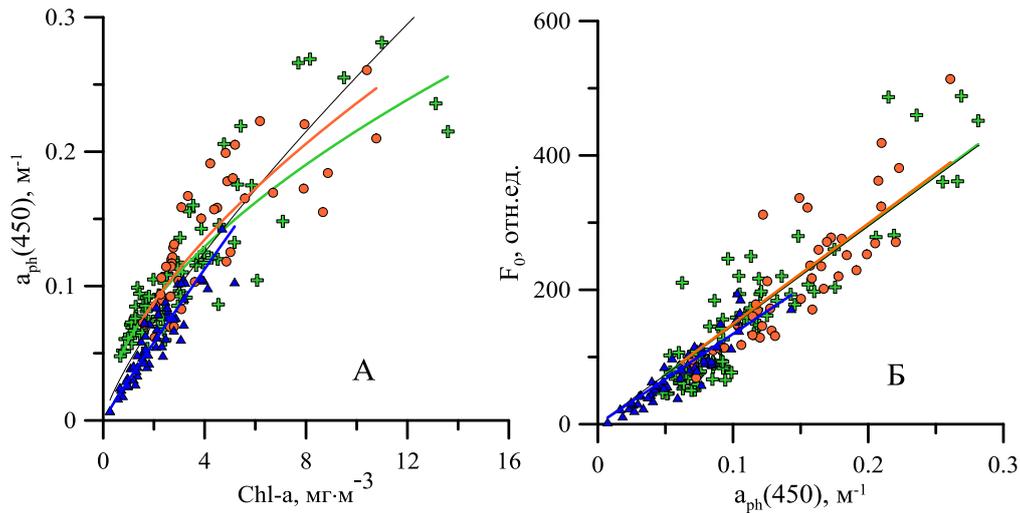


Рисунок 5 – А – Зависимость показателя поглощения света пигментами фитопланктона на длине волны 450 нм ($a_{ph}(450)$) от концентрации хлорофилла a (Chl- a); Б – связь интенсивности флуоресценции, регистрируемой лабораторным флуориметром, (F_0) с $a_{ph}(450)$ в выделенных слоях в прибрежных водах Камчатки, 15 августа – 20 сентября 2023 г. Обозначение символов и линий регрессии – аналогично рисунку 4

Таблица 1 – Уравнения зависимостей: интенсивности флуоресценции, измеренной погружным датчиком (F_{CTD}), от концентрации хлорофилла a (Chl- a) ($F_{CTD} = A_{F-CTD} \times Chl-a$); интенсивности флуоресценции, измеренной на лабораторном флуориметре (F_0), от Chl- a ($F_0 = A_{F-0} \times Chl-a$); показателя поглощения света пигментами фитопланктона на длине волны 450 нм ($a_{ph}(450)$) от Chl- a ($a_{ph}(450) = A_{aph} \times (Chl-a)^b$); F_0 от $a_{ph}(450)$; ($F_0 = A_{F-aph} \times a_{ph}(450)$) для выделенных слоев

Слой	$F_{CTD} - Chl-a$	$F_0 - Chl-a$	$a_{ph}(450) - Chl-a$	$F_0 - a_{ph}(450)$
ВКС	$F_{CTD} = 0,013 \times Chl-a$ $r^2 = 0,86$ $n = 80$	$F_0 = 44 \times Chl-a$ $r^2 = 0,95$ $n = 80$	$a_{ph}(450) =$ $0,060 \times Chl-a^{0,56}$ $r^2 = 0,8$ $n = 77$	$F_0 = 1480 \times a_{ph}(450)$ $r^2 = 0,94$ $n = 80$
ТК	$F_{CTD} = 0,019 \times Chl-a$ $r^2 = 0,91$ $n = 42$	$F_0 = 43 \times Chl-a$ $r^2 = 0,95$ $n = 43$	$a_{ph}(450) =$ $0,057 \times Chl-a^{0,61}$ $r^2 = 0,74$ $n = 41$	$F_0 = 1495 \times a_{ph}(450)$ $r^2 = 0,95$ $n = 43$
ТК – 1 % ФАР	$F_{CTD} = 0,022 \times Chl-a$ $r^2 = 0,87$ $n = 57$	$F_0 = 38 \times Chl-a$ $r^2 = 0,95$ $n = 56$	$a_{ph}(450) =$ $0,030 \times Chl-a^{0,96}$ $r^2 = 0,91$ $n = 56$	$F_0 = 1343 \times a_{ph}(450)$ $r^2 = 0,96$ $n = 38$

Зависимости установлены в широком диапазоне изменчивости Chl- a (~40 раз) от 0,31 до 13,6 мг·м⁻³, в среднем 3,1±2,3 мг·м⁻³. Минимальные значения Chl- a наблюдались в слое «ТК – 1 % ФАР», а максимальные – в слоях ВКС и ТК. При этом значения $a_{ph}(450)$, аналогично Chl- a , изменялись в широком диапазоне (0,0071–0,281 м⁻¹, в среднем 0,100±0,055 м⁻¹).

Коэффициент A_{F-CTD} в слое ВКС имеет наименьшее, в сравнении с другими слоями, значение (таблица 1). Несмотря на высокий коэффициент детерминации ($r^2 = 0,86$), очевидно (рис. 4А), что ряд точек при больших значениях Chl- a не описываются общей для слоя ВКС зависимостью, а находятся ниже. Изменчивость A_{F-CTD} между слоями достигает 60 % (между ВКС и слоем «ТК – 1 % ФАР»), при этом изменчивость коэффициента A_{F-0} значительно

меньше и составляет около 20 % (таблица 1). Зависимость между F и $Chl-a$ обусловлена (уравнение 1) эффективностью поглощения света, то есть $a_{ph}(450)$ – $Chl-a$ зависимостью, и квантовым выходом флуоресценции, то есть зависимостью между F и $a_{ph}(450)$ (табл. 1).

Отмеченное снижение коэффициента A_{aph} в слое «ТК – 1 % ФАР», в сравнении с ВКС и ТК (Таблица 1) означает уменьшение удельных показателей поглощения света пигментами фитопланктона $a_{ph}^*(450)$ около нижней границы зоны фотосинтеза, где фитопланктон существует при более слабой освещенности, чем в слоях ВКС и ТК. Уменьшение $a_{ph}^*(450)$ с глубиной связано с «эффектом упаковки» пигментов в клетке фитопланктона, который обусловлен адаптивным (в ответ на уменьшение количества света) увеличением концентрации пигментов в клетке [13] и уменьшением размерной структуры фитопланктонного сообщества [12].

Отмеченное снижение от слоя ВКС/ТК к слою 1 % ФАР величины A_{F-aph} (квантового выхода флуоресценции) с глубиной (табл. 1) вероятно связано с уменьшением $a_{ph}^*(450)$. В связи с тем, что F_0 измеряли после темновой адаптации в течение 30 минут, все виды тушения (фотохимическое [27] и нефотохимическое [28]), кроме фотоингибирования были нивелированы. Фотоингибирующий эффект, который проявляется при высоких уровнях освещенности [29], то есть в поверхностном слое моря, будет приводить к увеличению квантового выхода с глубиной. Однако, в настоящих исследованиях, отмечен противоположный характер изменения квантового выхода флуоресценции (табл. 1), что указывает на отсутствие ингибирующего влияния света.

Изменения коэффициента A_{F-CTD} между слоем ВКС и «ТК – 1 % ФАР» (на ~60 %) превышали изменение, отмеченное для A_{F-0} (на ~15 %) (табл. 1). В связи с тем, что изменением величины $a_{ph}^*(450)$ с глубиной (коэффициент A_{aph} , табл. 1) одинаково влияет на A_{F-CTD} и A_{F-0} , то различие между степенью вариабельности с глубиной A_{F-CTD} и A_{F-0} связано с квантовым выходом флуоресценции. Величины F_{CTD} измеряются погружным зондом без темновой адаптации пробы воды и, как следствие, в поверхностном высоко освещенном слое моря происходит снижение квантового выхода флуоресценции из-за фотохимического [27] и нефотохимического тушения [28]. Это приводит к уменьшению A_{F-CTD} в слое ВКС под действием естественной освещенности.

На основании вышеперечисленных причин изменений в связи F_{CTD} – $Chl-a$ можно сделать следующие рекомендации:

1. Исключать из регистрируемых погружным зондом значений интенсивности флуоресценции значения, которые обусловлены фоновой флуоресценцией.

2. Для максимально точного расчёта $Chl-a$ по данным F_{CTD} необходимо использование корреляционных коэффициентов для слоёв, различающихся по функциональным характеристикам фитопланктона ($a_{ph}^*(450)$).

3. Следует учитывать влияние интенсивности света на квантовый выход флуоресценции в слое ВКС, которое проявляется в снижении интенсивности флуоресценции, регистрируемой погружным датчиком, вблизи поверхности.

Выводы. Установлено изменение величины удельного поглощения света пигментами фитопланктона на с глубиной в пределах зоны фотосинтеза, что обусловлено адаптацией фитопланктона к различным световым условиям в квазиизолированных слоях существования фитопланктона в период стратификации вод. Показано светоиндуцированное снижение квантового выхода флуоресценции в верхнем перемешанном слое, которое сопровождается снижением отношения между интенсивностью флуоресценции (регистрируемой погружным флуориметром) и концентрацией хлорофилла a . Таким образом, использование единого (по всей зоне фотосинтеза) коэффициента связи приводит к некорректным оценкам концентрации хлорофилла a на основе данных интенсивности флуоресценции.

Для получения более точных оценок концентрации хлорофилла a рекомендуется: (а) исключать из регистрируемых погружным зондом значений интенсивности флуоресценции значения, которые обусловлены фоновой флуоресценцией (из слоя глубже зоны

фотосинтеза); (б) необходимо использование корреляционных коэффициентов для слоёв, различающихся по светопоглощающим характеристикам фитопланктона ($a_{ph}^*(450)$); (в) следует учитывать влияние интенсивности света на квантовый выход флуоресценции в слое ВКС, которое проявляется в снижении интенсивности флуоресценции регистрируемой погружным датчиком и ведет к снижению флуоресценция/хлорофилл отношению вблизи поверхности моря.

Отбор проб проведен в ходе научной экспедиции в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение №075-01593-23-06). Расчеты, обработка и анализ изменения величины концентрации хлорофилла а и удельного поглощения света пигментами фитопланктона, проводились в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ №124030100106-2 «Исследование региональных особенностей биооптических показателей водоемов как основы дешифрования данных дистанционного зондирования для оценки мультимасштабной изменчивости первично продукционных характеристик пелагических экосистем». Измерение интенсивности флуоресценции погружным флуориметром и измерения на спектрофотометре Shimadzu UV-2600 UV-VIS Spectrophotometer выполнены в рамках государственного задания ФГБУН ТОИ ДВО РАН №124022100080-0 «Комплексное использование методов дистанционного зондирования Земли, а также наземных и подводных измерительных систем в исследованиях морских погодных образований, гидродинамические и биогеохимические процессов в верхнем слое океана и морей». Первичная обработка проб и анализ изменения величины интенсивности флуоресценции выполнены в рамках проекта № FZNS-2024-0037 «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки».

Список использованной литературы:

1. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochemie und Physiologie der Pflanzen. Elsevier BV, 1975. Vol. 167. № 2. P. 191–194.
2. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations // Limnology Oceanography. 1967. Vol. 12. P. 343–346.
3. Mantoura R.F.C., Llewellyn C.A. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography // Analytica Chimica Acta. 1983. Vol. 151. P. 297–314.
4. Holm-Hansen O. et al. Fluorometric Determination of Chlorophyll // ICES Journal of Marine Science. 1965. Vol. 30, № 1. P. 3–15.
5. Huot Y., Babin M. Overview of Fluorescence Protocols: Theory, Basic Concepts, and Practice // Chlorophyll a Fluorescence in Aquatic Sciences: Methods and Applications. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. P. 31–74.
6. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence-a practical guide // Journal of Experimental Botany. 2000. Vol. 51. № 345. P. 659–668.
7. Babin M. Phytoplankton fluorescence: theory, current literature and in situ measurement // Real-time Coastal Observing Systems for Marine Ecosystem Dynamics and Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation and Modelling. Paris: UNESCO Publishing, 2008. P. 237–280.
8. Neale P.J., Cullen J.J., Yentsch C.M. Bio-optical inferences from chlorophyll a fluorescence: What kind of fluorescence is measured in flow cytometry? // Limnology and Oceanography. 1989. Vol. 34. № 8. P. 1739–1748.
9. Xing X. et al. Combined processing and mutual interpretation of radiometry and fluorimetry from autonomous profiling Bio-Argo floats: Chlorophyll a retrieval // Journal of Geophysical Research. 2011. Vol. 116. № C6. P. C06020.
10. Sea-Bird Electronics, Wetstar Fluorometer User's Guide. URL: <https://www.bodc.ac.uk/data/documents/nodb/pdf/wetlabs> (дата обращения: 23.05.2024).

11. *Collins D.J. et al.* The role of reabsorption in the spectral distribution of phytoplankton fluorescence emission // *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 1985. Vol. 32. № 8. P. 983–1003.
12. *Morel A., Bricaud A.* Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton // *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 1981. Vol. 28. № 11. P. 1375–1393.
13. *Ciotti A.M., Lewis M.R., Cullen J.J.* Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient // *Limnology and Oceanography*. 2002. Vol. 47. № 2. P. 404–417.
14. *Falkowski P., Kiefer D.A.* Chlorophyll a fluorescence in phytoplankton: relationship to photosynthesis and biomass // *Journal of Plankton Research*. 1985. Vol. 7. № 5. P. 715–731.
15. *Babin M., Morel A., Gentili B.* Remote sensing of sea surface Sun-induced chlorophyll fluorescence: consequences of natural variations in the optical characteristics of phytoplankton and the quantum yield of chlorophyll a fluorescence // *International Journal of Remote Sensing*. 1996. Vol. 17. № 12. P. 2417–2448.
16. *Sosik H.M., Mitchell B.G.* Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta* // *Limnology and Oceanography*. 1991. Vol. 36. № 5. P. 910–921.
17. *Falkowski P., Kolber Z.* Variations in Chlorophyll Fluorescence Yields in Phytoplankton in the World Oceans // *Functional Plant Biology*. 1995. Vol. 22. № 2. P. 341–355.
18. *de Boyer Montégut C. et al.* Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2004. Vol. 109. № C12.
19. *Kirk J.T.O.* *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 3rd ed. Cambridge: University Press, 2011. 665 p.
20. *Mitchell B.G. et al.* Determination of spectral absorption coefficient of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples // *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation*. Mueller: NASA Goddard Space Flight Centre, 2003. P. 39–64.
21. *Neeley A.R. et al.* *Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient (v1.0)* // *Ocean Optics & Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation*. Dartmouth, Canada: IOCCG, 2018. Vol. 1.
22. *Kishino M. et al.* Estimation of the Spectral Absorption Coefficients of Phytoplankton in the Sea // *Bulletin of Marine Science*. 1985. Vol. 37. № 2. P. 634–642.
23. *Antal T. et al.* Chlorophyll fluorescence induction and relaxation system for the continuous monitoring of photosynthetic capacity in photobioreactors // *Physiologia plantarum*. 2019. Vol. 165. № 3. P. 476–486.
24. *Schreiber U., Bilger W., Neubauer C.* Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin: Springer, 1994. P. 9–70.
25. *Boss E. et al.* *Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Best Practices for the Collection and Processing of Ship-Based Underway Flow-Through Optical Data* // *IOCCG Protocol Series*. 2019. Vol. 4. № 0.
26. *Bricaud A. et al.* Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization // *Journal of Geophysical Research*. 1995. Vol. 100. № C7. P. 13321–13332.
27. *Kolber Z., Falkowski P.G.* Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis in situ // *Limnology and Oceanography*. 1993. Vol. 38. № 8. P. 1646–1665.
28. *Muller P., Li X.P., Niyogi K.K.* Non-photochemical quenching. A response to excess light energy // *Plant physiology*. 2001. Vol. 125. № 4. P. 1558–1566.
29. *Baker N.R.* Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo // *Annual Review of Plant Biology*. 2008. Vol. 59. № 1. P. 89–113.

References:

1. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie und Physiologie der Pflanzen*. Elsevier BV, 1975, vol. 167, no. 2, pp. 191–194. (In English).
2. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology Oceanography*, 1967, vol. 12, pp. 343–346. (In English).
3. Mantoura R.F.C., Llewellyn C.A. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 1983, vol. 151, pp. 297–314. (In English).
4. Holm-Hansen O. et al. Fluorometric Determination of Chlorophyll. *ICES Journal of Marine Science*, 1965, vol. 30, no. 1, pp. 3–15. (In English).
5. Huot Y., Babin M. Overview of Fluorescence Protocols: Theory, Basic Concepts, and Practice. *Chlorophyll a Fluorescence in Aquatic Sciences: Methods and Applications*. Dordrecht, Springer Netherlands, 2010, pp. 31–74. (In English).
6. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, vol. 51, no. 345, pp. 659–668. (In English).
7. Babin M. Phytoplankton fluorescence: theory, current literature and in situ measurement. *Real-time Coastal Observing Systems for Marine Ecosystem Dynamics and Harmful Algal Blooms: Theory, Instrumentation and Modelling*. Paris, UNESCO Publishing, 2008, pp. 237–280. (In English).
8. Neale P.J., Cullen J.J., Yentsch C.M. Bio-optical inferences from chlorophyll a fluorescence: What kind of fluorescence is measured in flow cytometry? *Limnology and Oceanography*, 1989, vol. 34, no. 8, pp. 1739–1748. (In English).
9. Xing X. et al. Combined processing and mutual interpretation of radiometry and fluorimetry from autonomous profiling Bio-Argo floats: Chlorophyll a retrieval. *Journal of Geophysical Research*, 2011, vol. 116, no. C6, C06020 p. (In English).
10. *Sea-Bird Electronics, Wetstar Fluorometer User's Guide* (In English). Available at: <https://www.bodc.ac.uk/data/documents/nodb/pdf/wetlabs> (accessed 23.05.2024).
11. Collins D.J. et al. The role of reabsorption in the spectral distribution of phytoplankton fluorescence emission. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1985, vol. 32, no. 8, pp. 983–1003. (In English).
12. Morel A., Bricaud A. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1981, vol. 28, no. 11, pp. 1375–1393. (In English).
13. Ciotti Á.M., Lewis M.R., Cullen J.J. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. *Limnology and Oceanography*, 2002, vol. 47, no. 2, pp. 404–417. (In English).
14. Falkowski P., Kiefer D.A. Chlorophyll a fluorescence in phytoplankton: relationship to photosynthesis and biomass. *Journal of Plankton Research*, 1985, vol. 7, no. 5, pp. 715–731. (In English).
15. Babin M., Morel A., Gentili B. Remote sensing of sea surface Sun-induced chlorophyll fluorescence: consequences of natural variations in the optical characteristics of phytoplankton and the quantum yield of chlorophyll a fluorescence. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, vol. 17, no. 12, pp. 2417–2448. (In English).
16. Sosik H.M., Mitchell B.G. Absorption, fluorescence, and quantum yield for growth in nitrogen-limited *Dunaliella tertiolecta*. *Limnology and Oceanography*, 1991, vol. 36, no. 5, pp. 910–921. (In English).
17. Falkowski P., Kolber Z. Variations in Chlorophyll Fluorescence Yields in Phytoplankton in the World Oceans. *Functional Plant Biology*, 1995, vol. 22, no. 2, pp. 341–355. (In English).
18. de Boyer Montégut C. et al. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2004, vol. 109, no. C12. (In English).

19. Kirk J.T.O. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 3rd ed. Cambridge, University Press, 2011, 665 p. (In English).
20. Mitchell B.G. et al. Determination of spectral absorption coefficient of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation*. Mueller, NASA Goddard Space Flight Centre, 2003, pp. 39–64. (In English).
21. Neeley A.R. et al. Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Absorption Coefficient (vl.O). *Ocean Optics & Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation*. Dartmouth, Canada, IOCCG, 2018, vol. 1. (In English).
22. Kishino M. et al. Estimation of the Spectral Absorption Coefficients of Phytoplankton in the Sea. *Bulletin of Marine Science*, 1985, vol. 37, no. 2, pp. 634–642. (In English).
23. Antal T. et al. Chlorophyll fluorescence induction and relaxation system for the continuous monitoring of photosynthetic capacity in photobioreactors. *Physiologia plantarum*, 2019, vol. 165, no. 3, pp. 476–486. (In English).
24. Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin, Springer, 1994, pp. 9–70. (In English).
25. Boss E. et al. Inherent Optical Property Measurements and Protocols: Best Practices for the Collection and Processing of Ship-Based Underway Flow-Through Optical Data. *IOCCG Protocol Series*, 2019, vol. 4. (In English).
26. Bricaud A. et al. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization. *Journal of Geophysical Research*, 1995, vol. 100, no. C7, pp. 13321–13332. (In English).
27. Kolber Z., Falkowski P.G. Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis in situ. *Limnology and Oceanography*, 1993, vol. 38, no. 8, pp. 1646–1665. (In English).
28. Muller P., Li X.P., Niyogi K.K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant physiology*, 2001, vol. 125, no. 4, pp. 1558–1566. (In English).
29. Baker N.R. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, vol. 59, no. 1, pp. 89–113. (In English).

Сведения об авторах / Information about authors

Моисеева Наталья Андреевна	научный сотрудник Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2 nataliya-moiseeva@yandex.ru
Moiseeva Nataliia Aleksandrovna	Researcher A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2 nataliya-moiseeva@yandex.ru
Чурилова Татьяна Яковлевна	канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель НИЦ геоматики Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2 tanya.churilova@ibss-ras.ru
Churilova Tanya Yakovlevna	Ph.D. (Biol.), Leading researcher, Head of the geomatics research center A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2 tanya.churilova@ibss-ras.ru
Скорород Елена Юрьевна	научный сотрудник Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2

Skorokhod Elena Yur'evna	elenaskorokhod@ibss-ras.ru Researcher A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2 elenaskorokhod@ibss-ras.ru
Салюк Павел Анатольевич	канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий лабораторией Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43 psalyuk@poi.dvo.ru
Salyuk Pavel Anatolievich	Ph.D. (Phys.-Math.), Head of the Lab V.I. Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS 690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43 psalyuk@poi.dvo.ru
Ефимова Татьяна Владимировна	канд. биол. наук, старший научный сотрудник Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2 tatyana-iefimova@yandex.ru
Efimova Tatiana Vladimirovna	Ph.D. (Biol.), Senior Researcher A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 299011, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimova ave., 2 tatyana-iefimova@yandex.ru
Давыдова Дарья Геннадиевна	студент Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова 119991, Россия, Москва, ул. Колмогорова, 1 moonrainbovv@yandex.ru
Davydova Dar'ya Gennadievna	student Lomonosov Moscow State University 119991, Russia, Moscow, Kolmogorova str., 1 moonrainbovv@yandex.ru
Саушева Алёна Андреевна	студент Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва 430005, Россия, Республика Мордовия, Саранск, ул. Большевикская, 68 alena.sausheva@gmail.com
Sausheva Alena Andreevna	student Mordovia State University 430005, Russia, Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68 alena.sausheva@gmail.com
Самойлов Михаил Андреевич	студент Московский физико-технический институт 141701, Россия, Московская область, Долгопрудный, пер. Институтский, 9 samoilov.ma@phystech.edu
Samoilov Mikhail Andreevich	student Moscow Institute of Physics and Technology 141701, Russia, Moscow region, Dolgoprudny, Institutsky lane, 9 samoilov.ma@phystech.edu

УДК 004.942:66.061.3:634.45

Макаров А.Е., Нугманов А.Х.-Х., Алексанян И.Ю., Осмоловский П.Д., Фоменко Е.В.
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ
ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ МЯКОТИ ХУРМЫ**

Аннотация. Хурма является диетическим продуктом питания, в составе мякоти которой содержится большое количество биологически активных соединений, микроэлементов, и витаминный комплекс. Сохранение плодов в свежем виде является одной из существующих проблем, по этой причине внедрение современных методов переработки сырья растительного происхождения при производстве пищевых продуктов позволит в определенной степени сохранить полезные свойства хурмы. Интенсификация экстрагирования осуществляется на основе статических, кинетических и гидродинамических законов. Построение, адаптация к объекту исследования и изучаемому процессу, а также решение математической модели, послужило целью данного исследования. В целом, можно отметить, что в любой период процесса массообмена наблюдается перепады концентрации экстрактивных веществ в объеме частиц мякоти хурмы, возможно, за счет инерционности энергии массообмена. Кроме того, полученные адаптационные модели процессов экстрагирования позволят при варьировании краевых условий его проведения реализовать итеративную процедуру, применение которой спрогнозирует величину растворимых в экстрагенте веществ в составе фруктового рафината, удовлетворяющее общему материальному балансу, причем каждая итерация должна сопровождаться расчетом по всему объему дисперсной частицы.

Ключевые слова: мякоть хурмы, водорастворимые вещества, экстрагирование, уравнение массообмена, математическая модель, метод конечных разностей

Makarov A.E., Nugmanov A.H.-H., Aleksanyan I.Yu., Osmolovskiy P.D., Fomenko E.V.
**MATHEMATICAL MODELING OF THE EXTRACTION OF WATER-SOLUBLE
SUBSTANCES FROM PERSIMMON PULP**

Abstract. Persimmon is a dietary food product, the pulp of which contains a large number of biologically active compounds, trace elements, and a vitamin complex. The preservation of fruits in fresh form is one of the existing problems, for this reason, the introduction of modern methods of processing raw materials of plant origin in the production of food products will allow to preserve the beneficial properties of persimmons to a certain extent. The intensification of extraction is carried out on the basis of static, kinetic and hydrodynamic laws. The construction, adaptation to the object of research and the process under study, as well as the solution of a mathematical model, served as the purpose of this study. In general, it can be noted that at any period of the mass transfer process, there are differences in the concentration of extractive substances in the volume of persimmon pulp particles, possibly due to the inertia of the mass transfer energy. In addition, the obtained adaptive models of extraction processes will allow, with varying boundary conditions of its implementation, to implement an iterative procedure, the use of which predicts the amount of substances soluble in the extractant in the composition of fruit raffinate, satisfying the overall material balance, and each iteration should be accompanied by a calculation over the entire volume of the dispersed particle.

Keywords: persimmon pulp, water-soluble substances, extraction, mass transfer equation, mathematical model, finite difference method

Введение. Хурма имеет широкие перспективы выращивания на юге Российской Федерации, особенно в Республике Крым. С начала прошлого века в Национальном научном центре РАН (Никитский ботанический сад) проводятся работы по интродукции, селекции и исследованию сортов хурмы, что позволяет определить возможность расширения площадей

выращивания этой культуры за счет использования новых видов, устойчивых к неблагоприятным природным условиям [1, 2].

Ее плоды являются диетическими продуктами питания с большой долей биологически активных соединений и богатым перечнем микроэлементов (Ca, Fe, Mg, Na, Zn) и витаминных комплексов (С, А, Р, Е, К), а также полисахариды и пищевые волокна [3, 4].

При этом сохранение сохранности собранных плодов проблематично из-за сложности и дороговизны. По этой причине внедрение современных методов переработки сырья растительного происхождения и производства пищевых ингредиентов на его основе позволит в определенной степени сохранить полезные свойства хурмы [5, 6].

Интенсификация экстрагирования проводится на основе его статических, кинетических и гидродинамических закономерностей [7]. Построение, адаптация к объекту исследования и изучаемому процессу, а также решение математической модели, целесообразно для оперативного управления им, особенно в случае сложности получения теоретическим или эмпирическим путем необходимых для этого данных.

Полученные ранее данные по свойствам мякоти плодов хурмы, результаты исследования статистики и кинетики экстракции растворимых в водной среде компонентов из нее, позволили получить математические зависимости движущей силы процесса, как при воздействии на объект ультразвукового воздействия, так и без него, и решить математическую модель массопереноса при экстракции.

Отметим, что лимитирует интенсивность экстракции перенос компонентов в твердом материале, что обуславливает необходимость моделировать именно его для выявления распределения доли извлекаемых компонентов в объеме частиц мякоти плодов хурмы в течение операции для нахождения ее длительности при соблюдении технологических лимитов [8].

Цель исследования. Построение и решение численным методом математической модели массопереноса, адаптированной к объекту исследования и изучаемому процессу экстрагирования, применять которую целесообразно для оперативного управления твердожидкостной экстракцией водорастворимых веществ из мякоти дробленной хурмы.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования принята операция экстракции растворимых в водной среде компонентов из дробленной мякоти плодов хурмы сортов Хиакуме, Шарон и Королек, проходящая при наличии разности доли извлекаемого вещества на поверхности и в центре ее частицы, которую по форме принимаем шарообразной. По этой причине ее характерным размером служит эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$. С целью выявления характера продвижения концентрационного фронта в частице решается классическое уравнение массопереноса в частных производных, которое в одномерном виде представляется, как:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -D(\tau) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где C – объемная доля извлекаемого вещества в частице МПХ и рафинате, кг/м³;

x – координата ее глубины, м;

τ – текущая длительность операции, с;

$D(\tau)$ – коэффициент молекулярной диффузии в ней, как функция от длительности, м²/с.

В процессе решения данного уравнения методом конечных разностей по неявной схеме принимаем, что внутренняя и внешняя массоотдача по отношению к частице проходит идентично по всей внешней поверхности объекта с $d_{\text{экв}}$. Причем x варьируется в рамках $x = 0 \dots d_{\text{экв}}$.

Текущая длительность операции учитывая ранее проведенные исследования, будет меняться, в зависимости от способа экстракции, в интервале от 0 до 1200 секунд, т.е. $\tau = 0 \dots \tau_k$.

Плотность потока $q_{\text{п}}$ (кг/(м²·с)) извлекаемых компонентов в прослойках частицы

вблизи поверхности с единицы ее площади за время τ определяется по закономерности:

$$q_{\text{п}}(\tau) = \beta [C_{\text{э}}(\tau)_{\text{гран}}^* - C_{\text{э}}(\tau)], \quad (2)$$

где β – коэффициент массоотдачи, м/с;

$C_{\text{э}}(\tau)_{\text{гран}}^*$ – равновесная доля компонента в экстракте поверхностной прослойки, кг/м³;

$C_{\text{э}}(\tau)$ – доля компонента в ядре экстрагента и далее экстракта, кг/м³.

Закономерность 2 является частью граничного условия при решении модели. Внутри частицы вблизи поверхности перенос массы протекает по закономерности А. Фика:

$$q_{\text{п}} = -D_I \left(\frac{\partial C}{\partial n} \right)_{\text{п}}, \quad (3)$$

где D_I – коэффициент молекулярной диффузии, м²/с;

$\left(\frac{\partial C}{\partial n} \right)_{\text{п}}$ – градиент доли компонента вблизи поверхности внутри частицы, кг/м⁴.

Закономерность изменения D во времени, принимая во внимание (3) можно с приемлемой погрешностью определить, как:

$$D(\tau) = \frac{q_{\text{п}}(\tau) \cdot d_{\text{экв}}}{2 \cdot \Delta C_{\text{ч}}(\tau)}, \quad (4)$$

где $\Delta C_{\text{ч}}(\tau)$ – закономерность изменения во времени движущей силы массопереноса в частице МПХ, кг/м³.

$q_{\text{п}}$ представляется, как:

$$q_{\text{п}} = \frac{dM}{F \cdot d\tau}, \quad (5)$$

где $dM = d(M(\tau))$ – изменение массы перенесенного вещества за $d\tau$, кг;

F – площадь поверхности массообмена, м².

Принимая во внимание тот факт, что изначально в экстрагенте извлекаемые составляющие отсутствуют, а конечная их доля в экстракте будет иметь определенную величину, можно принять линейной функцией $M(\tau) = a\tau + 0$.

В этом случае, с учетом соотношения 5 получим:

$$q_{\text{п}}(\tau) = \frac{d(a \cdot \tau)}{d\tau} \cdot \frac{1}{F} = a \cdot F^{-1}, \quad (6)$$

где a – расчетный параметр, отражающий скорость переноса массы в ядро экстрагента, кг/с;

F – площадь массообмена, м².

Площадь массообмена или контактируемой поверхности частиц хурмы с экстрагентом, в варианте их шарообразного вида F находим, как:

$$F = \pi d_{\text{экв}}^2 k_{\text{ч}}, \quad (7)$$

где $k_{\text{ч}}$ – число частиц, шт., которое находим, как:

$$k_{\text{ч}} = \frac{6m}{\pi d_{\text{экв}}^3 \rho}, \quad (8)$$

где m – масса исходного сырья, участвующего в массообменном процессе, кг;

ρ – плотность исходного сырья, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Необходимый для моделирования процесса экстракции целевых компонентов из дисперсной частицы мякоти хурмы, ее размер определялся визуальным анализом с помощью микроскопа. В результате проведенного дисперсного анализа установлено, что средний размер частицы дробленой хурмы составляет 100 мкм.

Далее адаптируем математическую модель, выраженную соотношением 3.28, к объектам исследования и процессу экстрагирования водой дробленой мякоти хурмы при температуре экстрагента близкую к $100\text{ }^\circ\text{C}$, соотношения взаимодействующих веществ 1:5 и без использования ультразвукового воздействия при условии, что масса исходного сырья, взятая для проведения этой массообменной операции равна одному килограмму [9, 10, 11].

Результаты исследования и их обсуждение. Сделаем предварительный расчет необходимых параметров для решения задачи адаптации модели (1) для каждого из исследуемых сортов дробленой мякоти хурмы.

1. Согласно проведенным исследованиям процесса экстрагирования, концентрация в водном экстракте после проведения массообмена при вышеназванных параметрах, на уровне 1200 секунд, и при условии, что в качестве исходного сырья использовалась мякоть хурмы «Хиакуме» массой 1 кг, будет равна $41,48\text{ кг}/\text{м}^3$, из чего следует то, что в экстракт перешло 0,188 кг экстрактивных веществ:

$$M = 41,48 \cdot \frac{m_{\text{экс}}}{\rho_{\text{экс}}} = 0,188\text{ кг}, \quad (9)$$

где $m_{\text{экс}}$ – масса экстракта, кг; $\rho_{\text{экс}}$ – плотность экстракта, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Тогда линейная зависимость перенесенной массы в экстрагент от времени будет иметь следующий вид:

$$M = 1,57 \cdot 10^{-4} \tau, \quad (10)$$

где τ – продолжительность процесса, с.

Согласно соотношению 8 количество частиц, участвующих в процессе экстрагирования будет равно $k_{\text{ч}} = 1730171792$ шт.

Согласно соотношению 7 площадь контактируемой поверхности частиц икры с экстрагентом будет равна $F = 54,33\text{ м}^2$.

2. При условии, что в качестве исходного сырья использовалась мякоть хурмы «Шарон» массой 1 кг, концентрация будет равна $37,89\text{ кг}/\text{м}^3$, из чего следует то, что в экстракт перешло 0,173 кг экстрактивных веществ:

$$M = 37,89 \cdot \frac{m_{\text{экс}}}{\rho_{\text{экс}}} = 0,173\text{ кг}, M = 1,44 \cdot 10^{-4} \tau,$$

$$k_{\text{ч}} = 1750470888\text{ шт}, F = 54,96\text{ м}^2.$$

3. Для мякоти хурмы «Королек» массой 1 кг, концентрация будет равна $42,55\text{ кг}/\text{м}^3$, из чего следует что в экстракт перешло 0,173 кг экстрактивных веществ:

$$M = 42,55 \cdot \frac{m_{\text{экс}}}{\rho_{\text{экс}}} = 0,191\text{ кг}, M = 1,59 \cdot 10^{-4} \tau,$$

$$k_{\text{ч}} = 1718268852\text{ шт}, F = 53,95\text{ м}^2.$$

Итак, принимая во внимание ранее полученные закономерности варьирования движущей силы во взаимодействующих фазах в течение операции экстракции решена ее математическая модель для мякоти плодов хурмы посредством программного обеспечения Mathcad Professional без применения ультразвука (рис. 1...3).

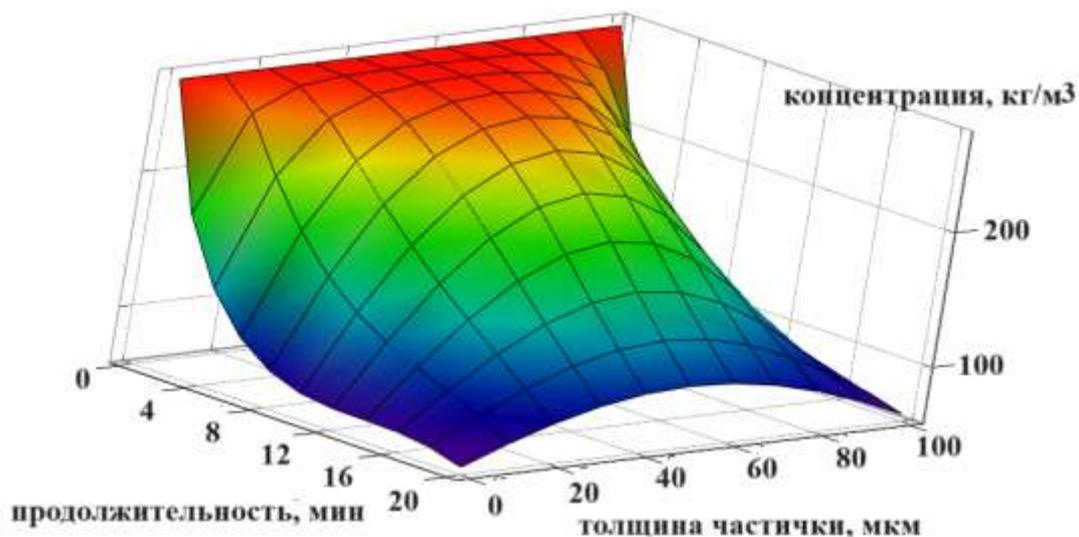


Рисунок 1 – Интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке мякоти плодов хурмы сорта «Хиакуме»

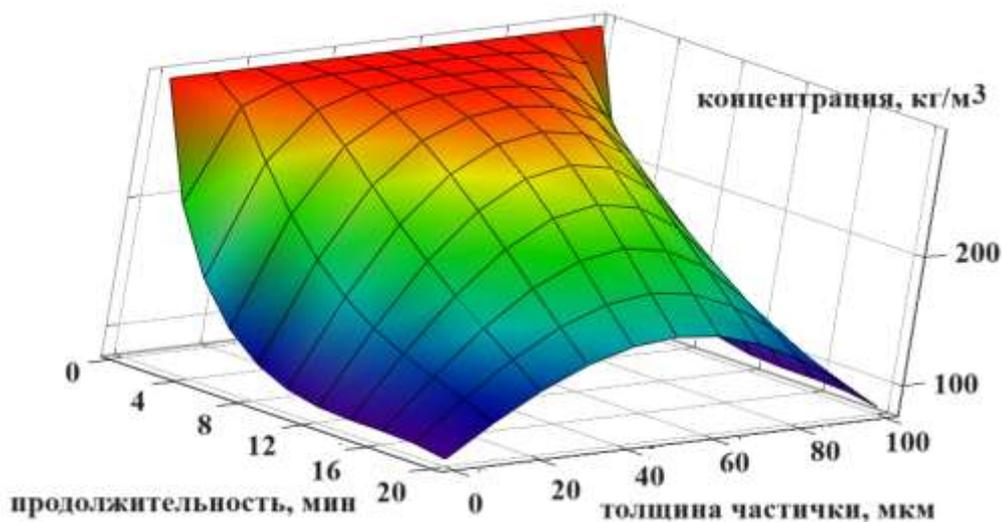


Рисунок 2 – Интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке мякоти плодов хурмы сорта «Шарон»

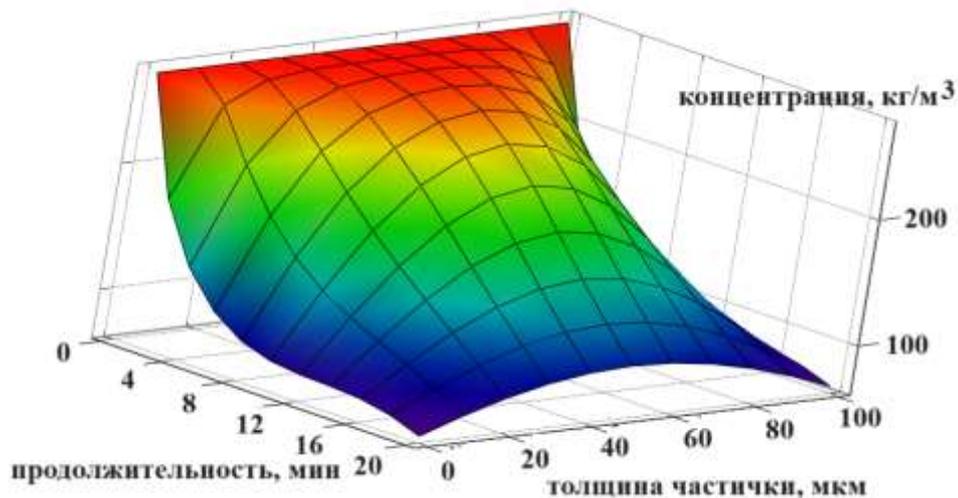


Рисунок 3 – Интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке мякоти плодов хурмы сорта «Королек»

Основной вывод из анализа полученного графического решения очевиден – на уровне 20 минут проведения массообменного процесса значение объемной концентрации по глубине частичке хурмы не равномерный, что во-первых хорошо согласуется с экспериментальными данными, значит полученная модель вполне адекватна реальному процессу, а во вторых в сырье еще остается достаточное количество целевого компонента, которое необходимо извлечь из сырья, а так как скорость экстракции на данный момент низкая (порядка $0,02 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$), то дальнейшее проведение экстрагирования, при данных условиях его реализации, является нецелесообразным. В итоге, полученный результат подтверждает правильность применения ультразвукового воздействия на объект экстрагирования, благодаря чему заданный выход экстрактивных веществ из растительного сырья будет достигнут за более рациональную продолжительность массообменного процесса (600 секунд против 1200 секунд).

Далее адаптируем математическую модель, выраженную соотношением 1, к объектам исследования и процессу экстрагирования водой дробленной мякоти хурмы при T экстрагента близкой к $100 \text{ }^\circ\text{C}$, соотношения взаимодействующих веществ 1:5 и с использованием ультразвука при условии, что масса исходного сырья, взятая для проведения этой массообменной операции равна 1 кг.

Сделаем предварительный расчет необходимых параметров для решения задачи адаптации модели 1 для каждого из исследуемых сортов дробленной мякоти хурмы.

1. Концентрация в водном экстракте после проведения массообмена при вышеназванных параметрах, на уровне 600 секунд, и при условии, что в качестве исходного сырья использовалась мякоть хурмы «Хиакуме», будет равна $45,60 \text{ кг}/\text{м}^3$, из чего следует что в экстракт перешло $0,205 \text{ кг}$ экстрактивных веществ:

$$M = 45,60 \cdot \frac{m_{\text{экс}}}{\rho_{\text{экс}}} = 0,205 \text{ кг}, M = 3,42 \cdot 10^{-4} \tau, k_{\text{ч}} = 1715933500 \text{ шт}, F = 53,88 \text{ м}^2.$$

2. Концентрация в водном экстракте при условии, что в качестве исходного сырья использовалась мякоть хурмы «Шарон» будет равна $44,76 \text{ кг}/\text{м}^3$, то есть в экстракт перешло $M = 0,202 \text{ кг}$ экстрактивных веществ:

$$M = 3,36 \cdot 10^{-4} \tau, k_{\text{ч}} = 1726668473 \text{ шт}. F = 54,22 \text{ м}^2.$$

3. Концентрация в водном экстракте при условии, что в качестве исходного сырья использовалась мякоть хурмы «Королек» будет равна $46,90 \text{ кг}/\text{м}^3$, из чего следует что в экстракт перешло $M = 0,209 \text{ кг}$ экстрактивных веществ:

$$M = 3,48 \cdot 10^{-4} \tau, k_{\text{ч}} 1702589725 \text{ шт}. F = 53,46 \text{ м}^2.$$

В результате определена интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке МПХ (рис. 4...6) с применением ультразвука.

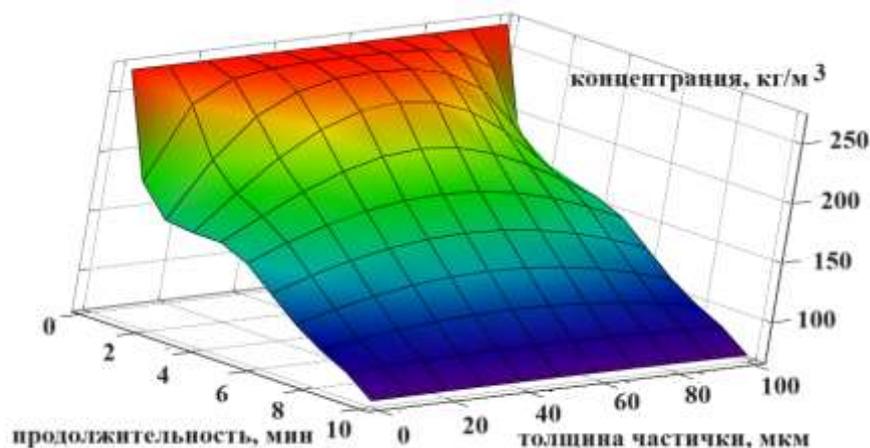


Рисунок 4 – Интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке мякоти плодов хурмы сорта «Хиакуме»

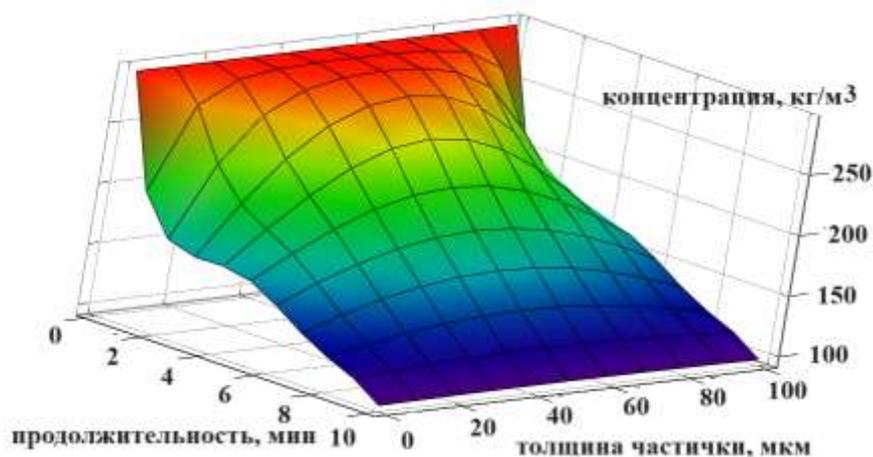


Рисунок 5 – Интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке мякоти плодов хурмы сорта «Шарон»

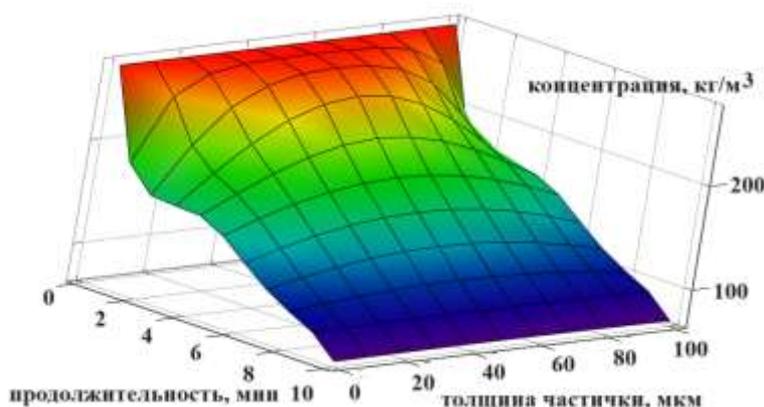


Рисунок 6 – Интенсивность продвижения концентрационного фронта в частичке мякоти плодов хурмы сорта «Королек»

Основной вывод из анализа полученного графического решения очевиден – на уровне 10 минут проведения массообменного процесса значение объемной концентрации по глубине частичке хурмы выровнялся, что, во-первых, хорошо согласуется с экспериментальными данными, значит полученная модель явно адекватна реальному процессу, а во-вторых, в сырье практически не осталось экстрактивных компонентов.

Как следует из рисунков 4...6 среднеобъемная доля растворимых в воде веществ в частицах мякоти плодов хурмы уменьшается практически до равновесного значения за 600 секунд, что дает возможность рекомендовать представленную выше адаптационную модель для каждого из исследуемых сортов хурмы.

Выводы. Таким образом, проведено построение, адаптация к объекту исследования и изучаемому процессу, а также решение математической модели для оперативного управления им, особенно в изучаемом варианте сложности получения теоретическим или эмпирическим путем необходимых для этого данных.

В целом можно отметить, что при любой продолжительности массообменного процесса существуют перепады концентрации экстрактивных веществ в объеме частички мякоти хурмы, вероятно, вследствие инерционности энергии массопереноса, осуществляемой при условии сохранения на границе раздела фаз равновесного состояния.

Кроме того, полученные адаптационные модели процессов экстрагирования позволят при варьировании краевых условий его проведения реализовать итеративную процедуру, применение которой спрогнозирует величину растворимых в экстрагенте веществ в составе

фруктового рафината, удовлетворяющее общему материальному балансу, причем каждая итерация должна сопровождаться расчетом по всему объему дисперсной частицы, однако при этом эффективность указанного итеративного процесса будет существенно зависеть от того, насколько эффективен применяемый метод определения концентрации переносимых веществ в получаемом экстракте.

Список использованной литературы:

1. *Омаров М.Д.* Производство плодов хурмы восточной (*Diospyros kaki* L.) в основных странах её возделывания // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021. № 76. С. 17–25. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-76-17-24.
2. *Khokhlov S.Y., Panyushkina E.S., Novitskaya A.P.* The influence of the properties of brown skeletal soil on the growth and development of persimmons // *Acta Horticulturae*. 2022. Vol. 1333. P. 83–87. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1333.11.
3. *Омаров М.Д., Омарова З.М., Белоус О.Г.* Сортовые особенности качества плодов хурмы восточной и её значение // *Проблемы развития АПК региона*. 2019. № 2 (38). С. 131–135.
4. *Melnikov V.A., Panyushkina E.S., Plugatar Y.V. et al.* Morpho-biological features of oriental persimmon pollen // *Acta Horticulturae*. 2022. Vol. 1339. P. 133–137. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1339.18.
5. *Старцева О.В., Палий И.Н., Хохлов С.Ю. и др.* Фенольные соединения плодов хурмы сортов коллекции Никитского ботанического сада // *Таврический научный обозреватель*. 2017. № 4-1 (21). С. 179–183.
6. *Гафуров А.Ж., Исмоилов Ш.И., Рахматова М.А.* Безотходная переработка плодов хурмы // *Результаты современных научных исследований и разработок*. 2018. С. 29–32.
7. *Магажанов Ж.М., Карпенко А.Ю.* Подбор рациональных режимов экстракции полифенолов из ягод и плодов // *Высшая школа: научные исследования: Материалы Межвузовского научного конгресса, Москва, 07 декабря 2019 года*. М.: Инфинити, 2019. С. 174–182.
8. *Пиняскин В.В., Даудова Т.Н., Даудова Л.А. и др.* Математическая модель и оптимизация процесса экстракции антоцианов из плодов дикорастущего сырья // *Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 23–24 октября 2018 года*. Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2018. С. 88–91.
9. *Остроушко В.Л., Папченко В.Ю.* Экстрагирование в системе «твердое тело-жидкость» // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. Т. 4. № 6 (58). С. 12–14.
10. *Потапов А.Н., Потапова М.Н.* Совершенствование методов исследования процессов при экстрагировании в системах твердое тело-жидкость // *Инновации в пищевой биотехнологии: Сборник трудов Международного симпозиума, Кемерово, 14–16 мая 2018 года / Под общ. ред. А.Ю. Просекова*. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2018. С. 334–339.
11. *Шишацкий Ю.И., Дерканосова А.А., Толстов С.А.* Термодинамика фазового равновесия в системах твердое тело-жидкость и твердое тело-газ // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 30–35. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-30-35.
12. *Климов А.М., Рудобахта С.П., Тепляков Ю.А. и др.* Диффузионное равновесие процесса массообмена в системе «твердое тело-жидкость» // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2010. Т. 53. № 7. С. 40–43.

References:

1. *Omarov M. D.* Proizvodstvo plodov hurmy vostochnoj (*Diospyros kaki* L.) v osnovnyh stranah eyo vozdel'yvaniya [Production of oriental persimmon fruits (*Diospyros kaki* L.) in the main countries of its cultivation]. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* [Subtropical and ornamental gardening], 2021, no. 76. pp. 17–25. (In Russian). DOI: 10.31360/2225-3068-

2021-76-17-24.

2. Khokhlov S. Y., Panyushkina E.S., Novitskaya A.P. The Influence of the Properties of Brown Skeletal Soil on the Growth and Development of Persimmons. *Acta Horticulturae*, 2022, vol. 1333, pp. 83–87. (In English). DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1333.11.
3. Omarov M.D., Omarova Z.M., Belous O.G. Sortovye osobennosti kachestva plodov hurmy vostochnoj i eyo znachenie [Varietal characteristics of the quality of oriental persimmon fruits and its significance]. *Problemy razvitiya APK regiona* [Problems of the development of the agro-industrial complex of the region], 2019, no. 2 (38), pp. 131–135. (In Russian).
4. Melnikov V.A., Panyushkina E.S., Plugatar Y.V. et al. Morpho-Biological Features of Oriental Persimmon Pollen. *Acta Horticulturae*, 2022, vol. 1339, pp. 133–137. (In English). DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1339.18.
5. Starceva O.V., Palij I.N., Hohlov S. Yu. et al. Fenol'nye soedineniya plodov hurmy sortov kollekcii Nikitskogo botanicheskogo sada [Phenolic compounds of persimmon fruit varieties from the collection of the Nikitsky Botanical Garden]. *Tavrisheskij nauchnyj obozrevatel'* [The Tauride Scientific Observer], 2017, no. 4-1 (21), pp. 179–183. (In Russian).
6. Gafurov A.Zh., Ismoilov Sh.I., Rahmatova M.A. Bezothodnaya pererabotka plodov hurmy [Waste-free processing of persimmon fruits]. *Rezultaty sovremennyh nauchnyh issledovanij i razrabotok* [The results of modern scientific research and development], 2018, pp. 29–32. (In Russian).
7. Magazhanov Zh.M., Karpenko A.Yu. Podbor racional'nyh rezhimov ekstrakcii polifenolov iz yagod i plodov [Selection of rational modes of extraction of polyphenols from berries and fruits]. *Materialy Mezhvuzovskogo nauchnogo kongressa «Vysshaya shkola: nauchnye issledovaniya»* [Materials of the Interuniversity Scientific Congress “Higher School: scientific research”], Moscow, 2019, pp. 174–182. (In Russian).
8. Pinyaskin V.V., Daudova T.N., Daudova L.A. et al. Matematicheskaya model' i optimizaciya processa ekstrakcii antocianov iz plodov dikorastushchego syr'ya [Mathematical model and optimization of the anthocyanin extraction process from wild fruits]. *Materialy 8 Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Povyshenie kachestva i bezopasnosti pishchevyh produktov»* [Proceedings of the 8 All-Russian Scientific and Practical Conference “Improving the quality and safety of food products”]. Makhachkala, 2018, pp. 88–91. (In Russian).
9. Ostroushko V.L., Papchenko V.Yu. Ekstragirovanie v sisteme «tverdoe telo-zhidkost'» [Extraction in the solid-liquid system]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], 2012, vol. 4, no. 6 (58), pp. 12–14. (In Russian).
10. Potapov A.N., Potapova M.N. Sovershenstvovanie metodov issledovaniya processov pri ekstragirovanii v sistemah tverdoe telo-zhidkost' [Improvement of methods for studying processes during extraction in solid-liquid systems]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnogo simpoziuma «Innovacii v pishchevoj biotekhnologii»* [Proceedings of the International Symposium “Innovations in food biotechnology”]. Kemerovo, 2018, pp. 334–339. (In Russian).
11. Shishackij Yu.I., Derkanosova A.A., Tolstov S.A. Termodinamika fazovogo ravnovesiya v sistemah tverdoe telo-zhidkost' i tverdoe telo-gaz [Thermodynamics of phase equilibrium in solid-liquid and solid-gas systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2021, vol. 83, no. 1 (87), pp. 30–35. (In Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-30-35.
12. Klimov A.M., Rudobashta S.P., Teplyakov Yu.A. et al. Diffuzionnoe ravnovesie processa massoobmena v sisteme “tverdoe telo-zhidkost'” [Diffusion equilibrium of the mass transfer process in the solid-liquid system]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya* [Izvestia of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology], 2010, vol. 53, no. 7, pp. 40–43. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

- Макаров
Артем Евгеньевич** технолог продукции общественного питания
ООО «ПАСТАПИЦЦА»
414000, Астраханская обл., г. Астрахань, ул. Тургенева, 10/14, литера
AA2, помещение 3
artem.makarov.2011@mail.ru
- Makarov
Artyom Evgenievich technologist of public catering products
LLC “PASTAPIZZA”
414000, Astrakhan region, Astrakhan, Turgenev str., 10/14, letter AA2,
room 3
artem.makarov.2011@mail.ru
- Нугманов
Альберт
Хамед-Харисович** д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии хранения
и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции
Российский государственный аграрный университет – Московская
сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева
127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
nugmanov@rgau-msha.ru
- Nugmanov
Albert Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor of the Department of technology of
storage and processing of fruit and vegetable and crop products
Hamed-Harisovich Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural
Academy (RSAU-MTAA)
127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya str., 49
nugmanov@rgau-msha.ru
- Алексамян
Игорь Юрьевич** д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологических
машин и оборудования
Астраханский государственный технический университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1
16081960igor@gmail.com
- Aleksanyan
Igor Yurievich Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor of the department of technological
machinery and equipment
Astrakhan State Technical University
414056, Russian Federation, Astrakhan, Tatishcheva str., p. 16/1
16081960igor@gmail.com
- Осмоловский
Павел Дмитриевич** канд. с.-х. наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции
и семеноводства рапса
Липецкий НИИ рапса – филиал ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский
научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С.
Пустовойта»
398037, Российская Федерация, г. Липецк, ул. Боевой проезд, 26
pavel.osmolovsku@mail.ru
- Osmolovskiy
Pavel Dmitrievich Ph.D. (Agricult.), junior researcher at the laboratory of breeding and seed
production of rapeseed
Lipetsk Rapeseed Research Institute – the Branch of Federal State
Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center, V.S. Pustovoit
All- Russian Research Institute of oil crops
398037, Russian Federation, Lipetsk, Boevoy Proezd str., 26
pavel.osmolovsku@mail.ru
- Фоменко
Екатерина
Валерьевна** канд. техн. наук, доцент кафедры экономики и управления
предприятием
Астраханский государственный технический университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1

Fomenko	tetatet.78@mail.ru
Ekaterina	Ph.D. (Engin.), Associate professor of the department of economics and enterprise management
Valeryevna	Astrakhan State Technical University 414056, Russian Federation, Astrakhan, Tatishcheva str., p. 16/1 fomenkoe80@mail.ru

UDC 631.1

S.V. Shakhov, S.T. Antipov, V.A. Panfilov
ACCELERATED DEVELOPMENT OF FOOD PRODUCTION TECHNOLOGIES

Abstract. The article is devoted to some aspects concerning creation of technologies for the future of the Russian agro-industrial complex. The focus is on the synergetic approach to the development of complex food technologies. The range of issues discussed includes: defining of food technologies of the future; creating end-to-end agro-food technologies for food products; the structure of the synergetic complex "Agro-food technology"; problems solved by agro-food technologies; quantitative indicators of food technologies quality, conditions for the creation of agrobiotechnologies and agrozoofactories. Particular focus is paid to the industrial concept of the agro-industrial complex of Russia. It has been proven that the development of the food industry is impossible without fundamental scientific research and high-tech production systems. At the same time, the essence of scientific research is determined by the need to create a basis for the systemology of process flows for all processing industries of the agro-industrial complex, including the development of engineering calculation methods and feasibility studies for decision-making when implementing machine systems.

Keywords: food technologies of the future, synergetic systemic agro-industrial complex, quantitative indicators of the quality of technological processes, industrial production and agricultural products processing.

Шахов С.В., Антипов С.Т., Панфилов В.А.
ФОРСИРОВАННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Аннотация. Статья посвящена отдельным аспектам создания технологий будущего АПК России. В центре внимания находится синергетический подход к разработке сложных технологий продуктов питания. Круг обсуждаемых вопросов включает: определение пищевых технологий будущего; создание сквозных аграрно-пищевых технологий продуктов питания; структуру синергетического комплекса «Аграрно-пищевая технология»; проблемы, решаемые аграрно-пищевыми технологиями; количественные показатели качества пищевых технологий, условия создания агrobiофабрик и агрозоофабрик. Особое внимание уделено индустриальному облику агропромышленного комплекса России. Доказано, что развитие пищевой промышленности невозможно без проведения фундаментальных научных изысканий и высокотехнологичных производственных систем. При этом сущность научных изысканий обусловлена необходимостью создания основы системологии технологических потоков для всех перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса, включая разработку методов инженерных расчетов и технико-экономических обоснований для принятия решений при реализации систем машин.

Ключевые слова: пищевые технологии будущего, синергетический системный агропромышленный комплекс, количественные показатели качества технологических процессов, промышленное производство и переработка сельхозпродукции.

Introduction. In the XXI century the progressive urbanization of the population and the need to ensure food security of the country will exacerbate the problem of accelerated development of food production to the limit. Accelerated development is a process not so much of pushing away from the past, but rather a process of attraction to the future. In this regard, let us consider the aspect of the concept of "Future".

It makes most sense to differentiate between the astronomical and sociological aspects of the concept of "Future". In the sociological sense, the future means the state of society that should replace its state in the present. A society that seeks to look into its "tomorrow" seems to rush into the future and the course of the historical process of development accelerates for it.

Today, Russia lives in exactly such a period of its history. Therefore, food production specialists cannot help but look into the future of their technologies (forecast, plan, and design) [1].

The purpose of the article is to form the structure of the synergetic agro-industrial complex of the future for industrial food production.

Research results and their discussion. Today, the development of the food industry is unthinkable without fundamental science, i.e. without fundamental scientific research and high-tech production systems. Food technologies of the future are new raw materials and new properties of traditional raw materials, new ways of converting the original agricultural raw materials of plant and animal origin into food products, new methods of energy supply in technological processes (in the first instance, through electromagnetic, sound and mechanical vibrations), new recipes for human food products, new packaging materials that do not pollute the environment, flexible technologies that provide the widest range of food products and their high quality. Certainly, it is impossible to foresee and design new technologies down to the smallest detail, but in general terms it is quite realistic.

However, innovations cannot be achieved if we modernize what already exists. This is a no-win situation. A new ideology, a new paradigm of scientific activity, new approaches concerning organization of scientific research based on a clear vision of the goals are absolutely necessary. These goals can be the following patterns (projects) with a lag (interval) of 20, 30, 50 or more years:

- separate processes of food technologies of the future;
- food technologies of the future as a whole;
- food enterprises of the future with their own infrastructure.

Engineering of the food and processing industry of Russia requires urgent revival, otherwise we will come in nowhere. But now it is important not so much to update old technologies, but to create fundamentally new ones with groundwork for food technologies of the future based on the synergetic patterns of complex technological systems [2, 3].

At the same time, the path to the future of agro-industrial complex technologies on a new technical basis can only be ensured by a system of the advanced education. Therefore, the intellectualization of the educational process should be considered as a problem of today and the key to the country's food security.

Today, experts of the agro-industrial complex are looking for a possibility of scientific and engineering solution for the problem of highly effective system complexes creation which integrate the industrial production of agricultural raw materials and their industrial processing into food products. It is known that in a number of regions of Russia, similar complexes are have been already operating – agro-industrial associations, but these are administrative associations of manufacturing and processing industries. The task is to increase the efficiency of such associations by creating of end-to-end agro-food technologies for food products. It means not only administrative, but also technological integration of production processes in the agro-industrial complex, organized on an industrial basis.

A new era for the science and practice of food production in Russia began at the watershed of the 80s and 90s of the last century, when the Department of Storage and Processing of Agricultural Products was created at the All-Union Academy of Agricultural Sciences (VASHNIL). This alliance of scientists from the agricultural and processing subcomplexes of the agro-industrial complex led to the breaking down of inter-industry and interdisciplinary partitions, the establishment of the fact of interrelations and interactions of the leading processes of food technologies and the concept of "agricultural and food technology". There is no doubt that over time, these connections and dependencies in the form of patterns of technological processes will become dominant in the development of three types of technological systems (TS) that make up the system complex (Fig.) [4–6]:

- TS of agricultural products combination (synthesis);
- TS of agricultural products separation (analysis) into anatomical parts;
- TS of food products (combination) synthesis from these parts.

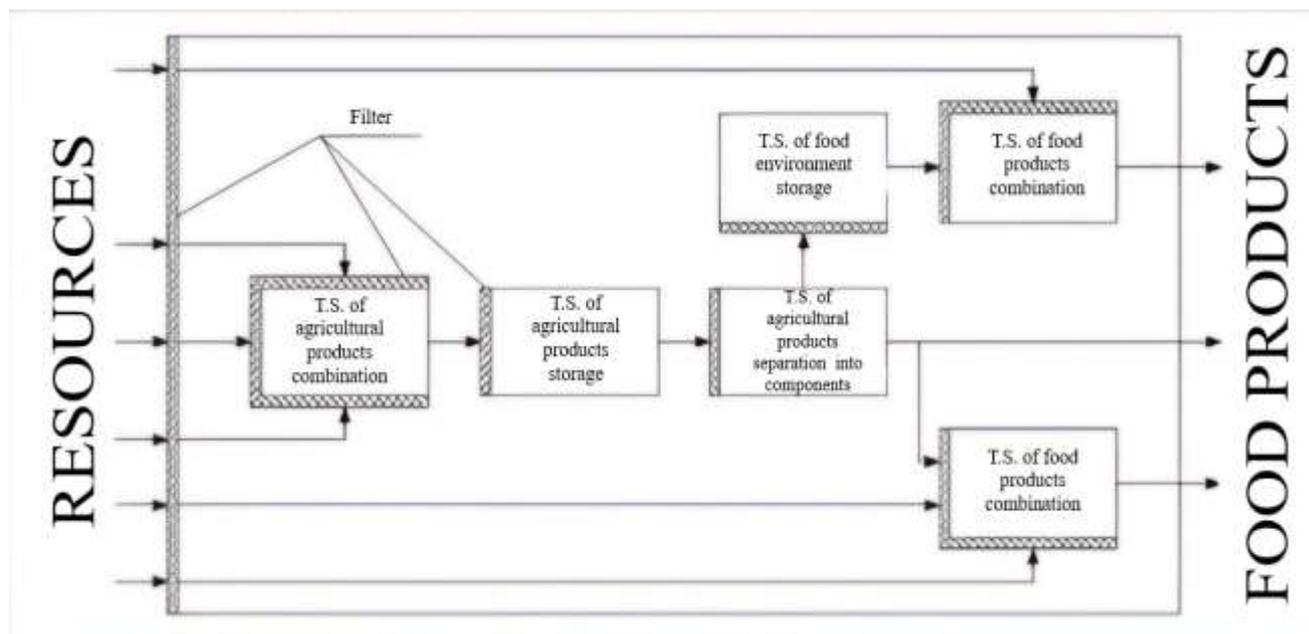


Figure 1 – System complex "Agricultural and food technology"

These three types of technological systems are interspersed with technological storage systems. Such a complex technological system (synergetic complex) is the result of convergence, connection, compression of agricultural, processing and food technologies in time and space. At the same time, various biological, biochemical, chemical, physicochemical and physical processes, previously so distant from each other in time and space, and therefore weakly interacting with each other, sometimes absolutely independent, are now converging, "compressed" by enough narrow tolerances for the values of the input and output parameters of the leading processes so closely that they begin to influence directly against each other.

It follows from the figure the concept of the system complex "filter", as well as of each individual technological system, which is understood as control and limitation of fluctuations of process inputs parameters in terms of quality and quantity [7].

The production and processing of agricultural products should be based on the principle of systematicity, even if it is not expressed in systemic language. Therefore, selection work, genetic engineering, crop production technologies, and farm animal production technologies should be focused on effective technology for agricultural products processing, i.e. low-operation and compressed in time, that will allow to solve, in particular, the following problems:

- expanding of target orientation for agricultural goods production;
- enhancing the technological properties of agricultural raw materials (reducing and simplifying of processing operations, increasing the readiness of processes for automation);
- ensuring the lifetime formation of food quality;
- implementation of traceability for food consumption safety;
- creating of highly automated and robotic production at processing and food enterprises;
- developing of cooperative forms for labor organization;
- technological discipline increasing in agricultural production and food industry;
- developing of resource conservation and environmental friendliness of processes along the entire technological chain;
- increasing of agriculture and industrial production socialization of agricultural products.

Agro-food technologies will certainly be the high technologies. Specific properties of such technologies are, in particular, high accuracy, high stability, high controllability and high reliability of processes. The creation of such technologies requires new, pioneering principles and approaches for organizing of agricultural resources and food environments transformation in flow production. These previously unknown methods of transformation and ways of energy supply can be revealed through a quantitative assessment of the quality of processes, existing agricultural and food

technologies, in other words it is needed their diagnostics. The results of such diagnostics will indicate the paths of development of those technologies to which everyone has long been accustomed and no longer thinks about their other embodiment, as well as their other machine-hardware and instrumental design [3]. Even the diagnostic procedure itself will become extremely fruitful, especially with artificial narrowing of tolerances on the parameters of process outputs. Without doubt all these and probably other quantitative indicators of the quality of existing agricultural and food, as well as created agricultural and food technologies should be reflected in the relevant technical regulations [8].

The aim of scientific research is to create the foundations of the systematology of process flows for all processing industries of the agro-industrial complex, as well as to develop methods for engineering calculations and technical and economic justifications for decision-making while implementing the processor chain.

The processing part of the synergetic system complex is already quite strictly organized into a process flow and functions at plants, factories, industrial complexes and other processing and food enterprises that cannot be said about the part of the complex which produces plant and animal raw materials. For this reason, it is absolutely necessary to organize the production of agricultural products on an industrial basis. In agriculture, the patterns describing the structure, functioning and development of technological processes are much more complex than the patterns of technological processes at processing and food enterprises and are mainly of a probabilistic nature. This is due to the characteristics of the main means of production – land with its return varying greatly depending on weather conditions. Plants and animals also have their own biological characteristics of growth and development. Therefore, the solution to the problem of agricultural products production that are stable in quality and quantity should be sought in the creation of fundamentally new industrial-type technologies, which will in turn require the creation of new highly productive animal breeds.

Industrial technologies of plant growing production should be based on the organization of a well-organized system of soil cultivation, fertilization, precision seeding, mechanized crop care, disease and pest control, harvesting and storage. At the same time, precise seeding (as the main factor) becomes possible only after their special processing: sorting, grinding, calibrating, pelleting with giving them a spherical shape. The synergetic system technology of food products from plant raw materials should exactly begin with precise and sometimes spacing seeding according to agrotechnical parameters [9-10].

Industrial technologies of livestock production should be based on the organization of automated processes for animals keeping, so that a person will be engaged not in their maintenance, but in the maintenance of automated production systems. Such technology leads to the concept of a "farm-factory", when agricultural labor acquires the features of factory labor.

At the end of the XX century, important initial prerequisites for the design of agrobiofactories and agrozoofactories were obtained. In field crop farming, one of the development directions of the factory model is the creation of bridge mobile systems. This is nothing more than a mobile agricultural plant. Plant development trends are also common for industrial livestock farming due to the high concentration of production with its narrow specialization.

At agricultural enterprises of the plant and factory type, the accuracy, sustainability, stability and technological reliability of agricultural production processes can be ensured. It is precisely such processes that can determine the necessary quality of connections along the entire technological chain of the synergetic system complex, that will allow to organize robotic food production based on rotary technologies and rotary equipment at processing and food enterprises.

Summary. Let the future of agro-industrial complex technologies be seen in the accelerated development of synergetic system complexes which unite the industrial production of agricultural products and their industrial processing into a single whole.

For this purpose it is necessary:

- to reveal the patterns of organization, structure, functioning and development of the technological flow as an organic whole in each industry;
- to lay the theoretical foundations for designing of highly efficient machine technologies for

the production and processing of agricultural products (agricultural and food technologies);

- to determine the principles of rotary technological flows for their implementation in rotary and rotary-conveyor lines;
- to establish quality indicators for each type of technological process that would reflect its accuracy, stability, technological reliability, controllability;
- to adopt rational forecasting methods for the development of technologies and equipment in each of the processing industries.

References:

1. Antipov S.T., Zhuravlov A.V. (ed.) *Razvitiye inzhenerii tekhniki pishchevykh tekhnologiy* [Development of food technology engineering]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2019, 448 p. (In Russian).
2. Panfilov V.A. *Teoriya tekhnologicheskogo potoka* [Theory of technological flow]. Moscow, INFRA-M Publ., 2019, 320 p. (In Russian).
3. Ovsyannikov V.YU., Antipov S.T., Panfilov V.A. *Konstruirovaniye apparatov budushchego pishchevykh tekhnologiy: kontseptual'nyye osnovy* [Design of future food technology devices: conceptual foundations]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin KGMTU], 2023, no. 1, pp. 98-110. (In Russian).
4. Panfilov V.A. *Tekhnologicheskii kompleks APK kak ob'yekt sinergetiki* [Technological complex of the agro-industrial complex as an object of synergetics]. *Pishchevaya industriya* [Food Industry], 2019, no. 1 (39), pp. 52–55. (In Russian).
5. Panfilov V.A. *Agrarno-pishchevyye innovatsii i sinergetika* [Agrarian and food innovations and synergetics]. *Agrarno-pishchevyye innovatsii* [Agrarian and Food Innovations], 2019, no. 4 (8), pp. 7–19. (In Russian).
6. Bautin V.M., Panfilov V.A. *Paradigma razvitiya tekhnologiy APK* [Paradigm of development of technologies of the agro-industrial complex]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Economics of Agriculture of Russia], 2017, no. 6, pp. 18–31. (In Russian).
7. Klyuchnikov A.I., Fedorenko B.N., Antipov S.T., Panfilov V.A. *Kontseptual'nyye osnovy sozdaniya konstruktsiy bioreaktorov budushchego pishchevykh tekhnologiy* [Conceptual foundations for creating designs of bioreactors for the future of food technologies]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin KGMTU], 2023, no. 1, pp. 130–137. (In Russian).
8. Antipov S.T., Zhuravlev A.V., Kazartsev D.A., Mordasov A.G. *Innovatsionnoye razvitiye tekhniki pishchevykh tekhnologiy* [Innovative development of food technology techniques]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2016, 660 p. (In Russian).
9. Nurullina Ye.N. *Issledovaniye rynka bioreaktornogo oborudovaniya* [Market research of bioreactor equipment] *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2014, no. 21, pp. 251–254. (In Russian).
10. Panfilova V.A. *Proyektirovaniye, konstruirovaniye i raschet tekhniki pishchevykh tekhnologiy* [Design, construction and calculation of food technology equipment]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2013, 912 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Шахов

Сергей Васильевич

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств
Воронежский государственный университет инженерных Технологий
394036, Воронеж, пр. Революции, 19
s_shahov@mail.ru

Shakhov

Sergey Vasilievich

Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor, Professor of the Department of machines and apparatuses of food production
Voronezh State University of Engineering Technologies

- 394036, Voronezh, Revolution ave., 19
s_shahov@mail.ru
- Антипов
Сергей Тихонович** д-р техн. наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств
Воронежский государственный университет инженерных Технологий
394036, Воронеж, пр. Революции, 19
ast@vsuet.ru
- Antipov
Sergey Tikhonovich Dr. Sci. (Engin.), Professor of the Department of machines and apparatuses of food production
Voronezh State University of Engineering Technologies
394036, Voronezh, Revolution ave., 19
ast@vsuet.ru
- Панфилов
Виктор
Александрович** академик РАН, д-р техн. наук, профессор
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
vap@rgau-msha.ru
- Panfilov
Victor Alexandrovich Academician of the RAS, Dr. Sci. (Engin.), Professor
Russian State Agrarian University of MAA named after K. A. Timiryazev
127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49
vap@rgau-msha.ru

УДК 631.14

Будагов Н.В.

**ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В КОНТЕКСТЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА
(НА МАТЕРИАЛАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ)**

Аннотация. Обеспечение требуемого уровня продовольственной безопасности на региональном уровне носит стратегический характер. Проблемность заявленного вопроса обусловлена действием экономических санкций, имеющих как финансово-экономическую, так и технико-технологическую основу. Вместе с тем, преодоление возникающих противоречий во многом связано с необходимостью выстраивания механизма производства продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья путем создания приемлемых условий участникам аграрного производства. Принимаемые органами государственной власти, как на федеральном, так и региональном уровне усилия, как правило, носят локальный характер и, практически, не имеют синергетического эффекта. Авторами отмечены перспективы производства продукции сельского хозяйства, в том числе и путем заполнения нехарактерных для региона экономических ниш. Акцентируется внимание на необходимости проведения последовательной политики поддержки участников аграрного производства на основе применения комплекса мер.

Ключевые слова: продовольственные товары, сельскохозяйственное сырье, продовольственная безопасность, регион, агропромышленный комплекс, сельскохозяйственное производство, сельские территории, государственное регулирование, продовольственная независимость.

Budagov N.V.

**AGRICULTURAL PRODUCTION IN THE CONTEXT OF ENSURING FOOD SECURITY
IN THE REGION (BASED ON THE MATERIALS OF THE STAVROPOL REGION)**

Abstract. Ensuring the required level of food security at the regional level is of a strategic nature. The problematic nature of the stated issue is due to the effect of economic sanctions, which have both a financial, economic, and technical and technological basis. At the same time, overcoming emerging contradictions is largely connected with the need to build a mechanism for the production of food products and agricultural raw materials, by creating acceptable conditions for participants in agricultural production. The efforts taken by government bodies, both at the federal and regional levels, are usually local in nature and practically do not have a synergistic effect. The authors noted the prospects for agricultural production, including by filling economic niches that are uncharacteristic for the region. Attention is focused on the need to pursue a consistent policy of supporting participants in agricultural production, based on the use of a set of measures.

Keywords: Food products, agricultural raw materials, food security, region, agro-industrial complex, agricultural production, rural areas, government regulation, food independence.

Введение. Значимость процесса производства сельскохозяйственной продукции, а также продовольственного сырья определяется не только необходимостью обеспечения требуемого уровня продовольственной безопасности, но также достижением благополучия населения территорий, что имеет положительный эффект в решении социально-экономических проблем общества. Ставропольский край относится к числу южных субъектов государства, обладающих оптимальными природно-климатическими условиями для развития растениеводства. Однако наличие естественных (природных) условий не является залогом успешного решения продовольственной проблемы, что обусловлено влиянием ряда факторов, носящих, как правило, деструктивный характер. Несмотря на наличие большого количества научных работ, имеющих как теоретический, так и

прикладной характер, проблемы организации производства продовольственных товаров остаются решенными не в полной мере, что требует их дополнительного изучения и принятия соответствующих управленческих решений. Это свидетельствует об актуальности заявленной тематики исследования. Проблеме повышения уровня продовольственной безопасности на основе совершенствования процесса производства продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья посвящены работы многих ученых – А.И. Алтухова, С.В. Дохоляна, И.Г. Ушачева, А.Б. Мельникова, Н.С. Швец, И.С. Санду, А.Г. Папцова, А.Д. Котенева, М.С. Оборина и других.

Целью исследования является анализ процессов производства продовольственной продукции и сельскохозяйственного сырья в рамках оценки уровня продовольственной безопасности отдельной территории, а также формирования научно обоснованных предложений по ее повышению на основе комплекса экономических мер.

Материалы и методы исследования. Вопросы стратегического развития отечественного сельского хозяйства в региональном и отраслевом аспектах, а также продовольственной безопасности страны в целом, послужившие основой исследования, рассмотрены в работах Атмачева С.Т., Бурловой Ю.А., Герасимова А.Н., Дибуриса К.М., Дубининой Э.В., Котенева А.Д., Оборина М.С., Соловьевой Л.В., Терещенко О.В., Яковлевой С.И. [1, 3-7, 10]. Исследование проведено также на основе открытых и доступных данных в открытой печати и сети Интернет, в том числе публикуемых в виде сборников и каталогов. Аналитический материал получен на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Министерства сельского хозяйства Ставропольского края, Министерства экономического развития Ставропольского края. В качестве методов были использованы: анализ, сравнение, сопоставление, табличный, графический, исторический методы исследования, а также систематизация данных по результатам проведенного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение. Ставропольский край, являясь сельскохозяйственным регионом, относится к субъектам рискованного земледелия, что накладывает определённый отпечаток на рассматриваемые процессы. С целью развития аграрного производства, а также решения продовольственной проблемы на региональном уровне, было принято постановление Правительства Ставропольского края от 28.12.2023 № 828-п «Об утверждении государственной программы Ставропольского края «Развитие сельского хозяйства». Согласно указанному документу, экономика сельского хозяйства Ставрополья базируется на 1,1 тыс. сельскохозяйственных организациях, 7,3 тыс. крестьянских (фермерских) хозяйствах, более 570 тыс. индивидуальных подсобных хозяйствах. Регион занимает высокий рейтинг среди производителей сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров – в пределах первых десяти позиций следует отметить валовый сбор зерновых, производство сахарной свеклы, выращивание скота и птицы. Указанное лидерство является результатом усилий всех участников производственного процесса, подкрепленное предпринимаемыми органами государственной власти региона мерами государственной поддержки сельскохозяйственных производителей.

Характеризуя эффективность производства продукции агропромышленного комплекса Ставропольского края, Оборин М.С. отмечает его приоритетность не только для самого региона, но и всего федерального округа – Северо-Кавказского федерального округа. Автор указывает на две группы факторов, положительно влияющих как на сам процесс производства сельскохозяйственной продукции, так и экономики всего края – рост цены на продукцию, а также наличие крупных сетевых промышленных компаний, обладающих существенным запасом финансовой прочности. Вместе с тем, выделяются также проблемы указанного производственного процесса – дефицит высококвалифицированных кадров, несоответствие учебных программ запросам со стороны производителей [1].

Особенностью сельскохозяйственной деятельности рассматриваемого региона выступает зарождение и развитие новых нетрадиционных направлений, завозятся животные, являющиеся для региона экзотическими. Так, ряд индивидуальных предпринимателей и

фермеров занимаются разведением страусов, в Апанасенковском муниципальном округе – разведением верблюдов, в Предгорном районе развивается даже такое новое направление сельского хозяйства, как улитководство. Среди необычных и перспективных участников сельскохозяйственной микропереписи в 2021 году отмечена единственная в регионе буйволиная ферма молочного направления – буйволино-молочный комплекс «Александровский» [2].

В производстве продукции животноводства наблюдается положительная ситуация. Производство мяса птицы на последние пять лет выросло более чем в 3,2 раза, молока – более чем на 75 %, мяса и мясных полуфабрикатов превысило дореформенные показатели. В отдельных регионах СКФО помимо увеличения производства мяса, наблюдается значительное увеличение объемов его экспорта. Однако, указанные обстоятельства не демонстрируют снижение внутренних цен на мясную продукцию, что затрудняет ее потребление населением на фоне падения платежеспособного спроса. Вместе с тем, рост объемов производства баранины сопровождается снижением поголовья крупного рогатого скота, имеющего неоднородную динамику в рамках регионов России, а также по категориям сельскохозяйственных товаропроизводителей. Данные обстоятельства являются следствием проводимой Правительством России политики поддержки крупных товаропроизводителей. Складывается ситуация, когда крестьянско-фермерские хозяйства и иные малые формы хозяйствования не способны органично «встроиться» в существующую производственную цепочку отношений, в результате чего не участвуют на равных в обеспечении продовольственной безопасности государства с крупными агропромышленными холдингами [3, 4].

Раскрывая процесс производства продовольственных товаров в условиях необходимости обеспечения продовольственной безопасности, Яковлева С.И. и Дубинина Э.В. выделяют ряд проблем, с которыми могут столкнуться регионы: во-первых, отсутствие благоприятных социально-экономических условий ведения аграрного производства; во-вторых, низкий уровень развития институтов рыночной инфраструктуры; в третьих, наличие барьеров в доступе к материально-техническим и финансовым ресурсам; в четвертых, дисбаланс интересов участников производственного процесса. Кроме того, авторы в качестве одной из первостепенных, наиболее актуальных в настоящее время проблем выделяют недостаток высококвалифицированных кадров, вызванной низким престижем труда в отраслях сельского хозяйства, недостаточным уровнем оплаты труда, а также отсутствием в достаточной мере развитой инфраструктуры в сельской местности [5, 6].

Ключевым показателем, характеризующим объем производства продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья является размер посевных площадей. Структурно ситуация имеет следующий вид: 75,9 % площадей приходится на долю сельскохозяйственных организаций (2344,0 тыс. га), 24,1 % – на крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальных предпринимателей (751,9 тыс. га). По сравнению с 2021 годом крестьянские (фермерские) хозяйства увеличили площадь посевов на 4,6 %, сельскохозяйственные организации – на 1,4 процента.

Данные о посевных площадях базовых сельскохозяйственных культур по Ставропольскому краю представлены в таблице 1.

В структуре посевных площадей сельскохозяйственных культур под урожай 2022 г. на зерновые и зернобобовые культуры (включая кукурузу) приходилось 77,4 %, из них 57,7 % – на пшеницу, 7,7 % – ячмень, 6,8 % – зернобобовые. Доля посевов под технические культуры составила 18,8 %, картофель и овощебахчевые – 0,9 %, кормовые культуры – 2,9 процента. По посевным площадям пшеницы, которая является основной зерновой культурой региона, Ставропольский край занимает 3-е место в России. В 2022 году посевная площадь озимой и яровой пшеницы составила 1797,6 тыс. га, и по сравнению с 2021 годом сократилась на 1,1 процента [7]. Среди других значимых сельскохозяйственных культур посевные площади под ячмень составили 240,6 тыс. га, кукурузу на зерно 136,9 тыс. га, овес – 11,8 тыс. га,

рапс – 137,1 тыс. га (в 2022 г. по посевным площадям озимого рапса Ставропольский край вышел на 1-е место в России, рапса в целом – на 5-е место), просо – 6,1 тыс. га, зернобобовые – 211,4 тыс. га, сахарную свеклу – 30,9 тыс. га, подсолнечник – 278,3 тыс. га, картофель – 11,9 тыс. га, овощи открытого грунта – 13,5 тыс. га, кормовые культуры – 89,5 тыс. гектаров. В структуре посевных площадей за период с 2020 года по 2023 год наблюдается увеличение земель, отводимых под овощи в открытом грунте почти на 4 %. Данная особенность связана с возросшим спросом на указанную категорию и заметным снижением импорта овощей, вызванного действием различного рода экономических ограничений (санкций).

Таблица 1 – Посевные площади базовых сельскохозяйственных культур по Ставропольскому краю, тыс. га. *

Наименование культуры	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Зерновые и зернобобовые всего	2523,7	2321,0	2486,2	2423,2	2434,6
Пшеница озимая	1853,9	1691,6	1818,2	1797,2	1776,2
Ячмень озимый	198,0	212,3	230,9	199,8	212,6
Кукуруза на зерно	181,3	157,5	139,8	139,7	136,4
Горох	173,2	162,9	195,4	202,1	225,4
Подсолнечник	304,8	280,4	287,7	283,3	256,9
Сахарная свекла	35,4	26,7	29,1	30,9	34,4
Рапс озимый	44,7	79,8	22,5	136,9	96,3
Картофель	13,7	12,6	12,2	12,5	13,1
Овощи открытого грунта	13,7	12,6	12,2	12,5	13,1

* таблица составлена авторами на основе данных УФСГС по СКФО [2].

В общей сложности, по состоянию на 1 июля 2024 года вся посевная площадь в крае оценивается примерно в 2,3 миллиона гектаров. Это включает 416,3 тысячи гектаров под яровые зерновые и зернобобовые, а также 1,9 миллиона гектаров под озимые культуры.

Данные, отражающие производство продукции сельского хозяйства в Ставропольском крае по видам хозяйств приведены на рисунке 1.

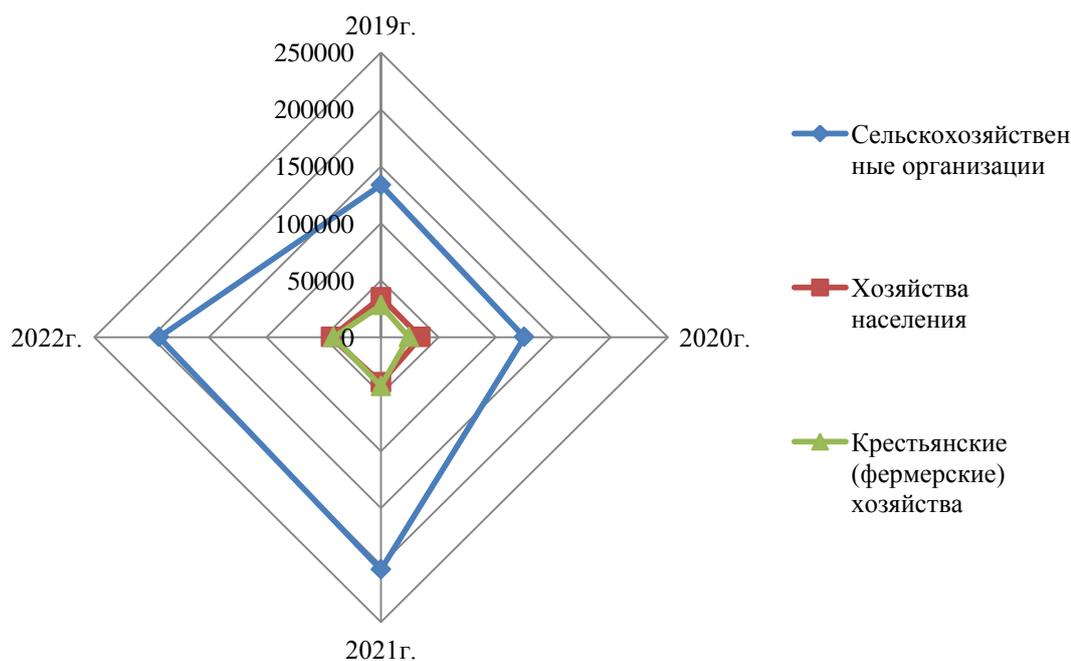


Рисунок 1 – Производство продукции сельского хозяйства в Ставропольском крае по видам хозяйств (в фактически действовавших ценах)*

* рисунок составлен авторами на основе данных УФСГС по СКФО [2]

Анализ данных о производстве продукции сельского хозяйства в Ставропольском крае по видам хозяйств, отраженных на рисунке 1, свидетельствует о динамичном его увеличении по всем рассматриваемым категориям. Так, объем производства продукции сельскохозяйственными организациями за рассматриваемый период вырос более чем на 44,7 %, хозяйства населения увеличили объемы на 24,5 %, крестьянско-фермерские хозяйства – 47,2 %. Причинами данного роста выступают следующие обстоятельства:

1) сельскохозяйственные организации получили доступ к льготным кредитам на развитие аграрного производства;

2) в связи с ростом цен на продукты питания, население вынуждено заниматься их производством на приусадебных участках, задействовав территории дачных хозяйств;

3) крестьянско-фермерские хозяйства, в рамках государственной политики импортозамещения, получили возможность на льготных условиях приобретать сельскохозяйственную технику, посадочный материал, средства защиты растений, молодняк, что положительным образом отразилось на объемах выпускаемой сельскохозяйственной продукции.

С целью анализа производства продукции растениеводства в Ставропольском крае сгруппируем данные и отразим их в виде графика (рис. 2).

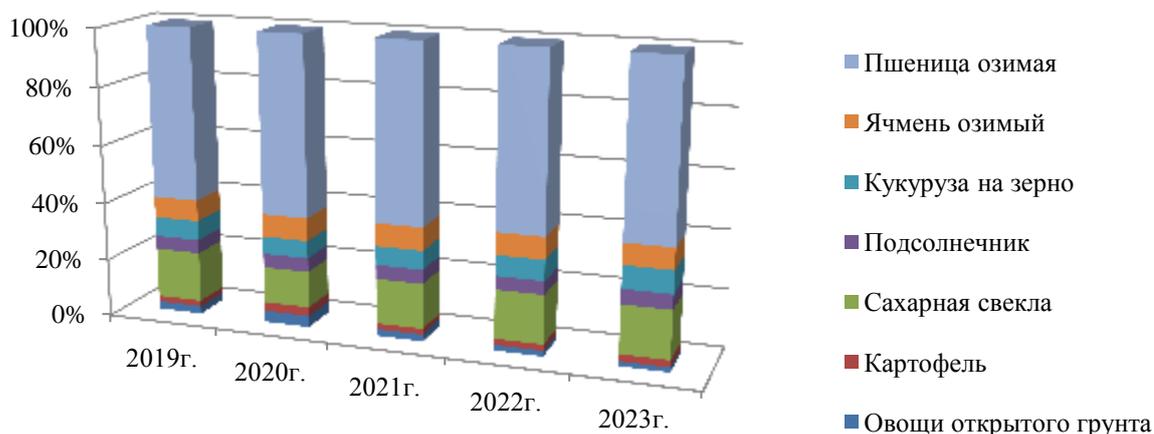


Рисунок 2 – Производство продукции растениеводства в Ставропольском крае (тыс. тонн)*
* рисунок составлен авторами на основе данных УФСГС по СКФО [2]

Основной продукцией растениеводства в Ставропольском крае выступает пшеница озимая, культивируемая на территории всего региона. По состоянию на начало июля текущего года в Ставропольском крае сбор зерновых превысил 4,3 млн тонн при средней урожайности 35,6 ц/га. По сообщению Министерства сельского хозяйства региона урожай убран на территории более 53% от запланированной площади. По урожайности лидируют хозяйства Новоалександровского округа с результатом 63 ц/га, Кочубеевский округ – 53,1 ц/га, Красногвардейский округ – 52,5 ц/га.

Сокращаются объемы производства подсолнечника в среднем на 2,2 % в год до 528 тыс. тонн, с урожайностью 19,1 ц/га. При этом отмечается увеличение урожая сахарной свеклы почти на 1,8 млн тонн или на 3,9 % по сравнению к 2021 году [8].

В рамках развития инвестиционной привлекательности аграрного сектора региона планируется увеличение объема собранного урожая овощей защищенного грунта (томаты, огурцы и пр.) до 117 тыс. тонн. Это станет возможным благодаря реализации нового проекта ООО агрокомплексом «Восточный» из Левокумского городского округа, который планирует в июле 2024 года завершить возведение теплицы площадью 23 га. Данное обстоятельство будет способствовать повышению уровня продовольственной безопасности края.

Проведем анализ поголовья скота и птицы в Ставропольском крае за период 2019-2023 гг. (рис. 3).

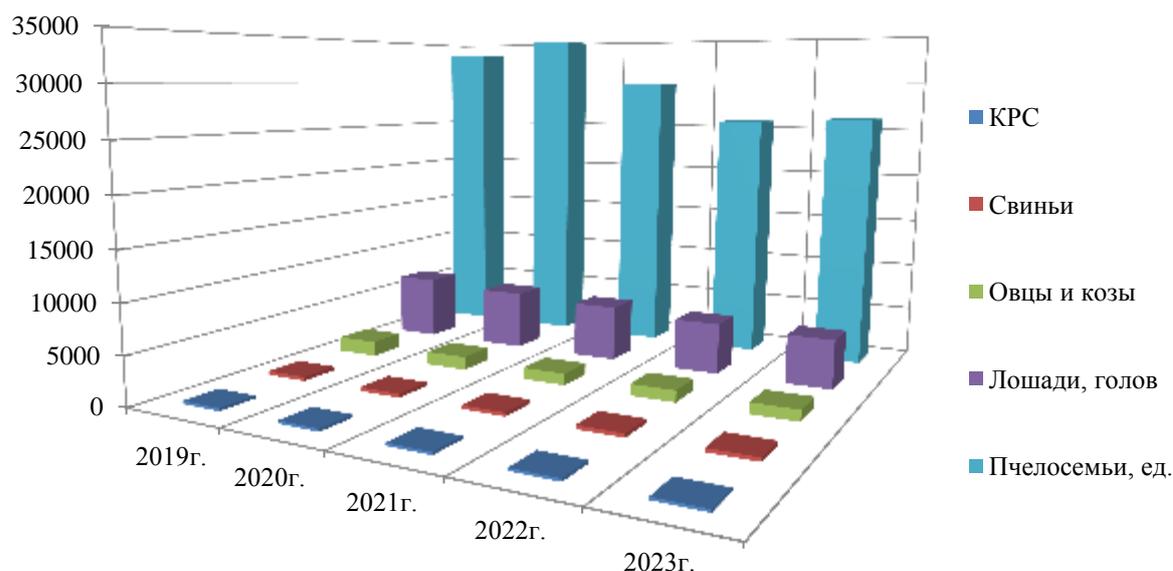


Рисунок 3 – Поголовье скота в Ставропольском крае (тыс. голов)*

* рисунок составлен авторами на основе данных УФСГС по СКФО [2].

Важную роль в производстве сельскохозяйственного сырья играет пчеловодство, которое по данным ФАО способствует произрастанию более 70 % сельскохозяйственных культур. Ставропольский край, как и 30 регионов России в 2019 году столкнулся с проблемой массовой гибели пчелосемей, вызванной отравлением пестицидами. Министерство сельского хозяйства России оценило ущерб в 1 трлн. руб. С целью увеличения пчелосемей на Ставрополье реализуются меры государственной поддержки в виде предоставления грантов. Так, с целью развития «агростартапа» были выделены финансовые ресурсы в объеме более 10 млн рублей на приобретение пчелопакетов, ульев и иной необходимой техники. Кроме того, за период 2020-2023 гг. на территории региона созданы 3 сельскохозяйственных потребительских кооператива, занимающихся переработкой, фасовкой и реализацией продукции пчеловодства.

С целью укрепления продовольственной безопасности региона органами власти предпринимаются меры по увеличению численности поголовья сельскохозяйственных животных и птицы на основе совершенствования племенной работы. Данная деятельность представлена в крае 54 организациями по следующим направлениям: мясное и молочное скотоводство, овцеводство, козоводство, коневодство, птицеводство, пчеловодство, рыбоводство и пушное звероводство. По итогам работы в 2023 году указанным хозяйствующим субъектам выделено 178 млн рублей в виде государственной помощи.

В условиях наличия различного рода ограничений как экономического, так и политического характера, эффективность процесса производства продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья во многом зависит от мер, предпринимаемых органами государственной власти как на федеральном, так и региональном уровнях.

Важнейшим инструментом в развитии сельскохозяйственного производства выступает льготное кредитование, которое в условиях современных ограничений способствует стабильному и планомерному развитию отрасли. В 2022 году были выданы подобные кредиты на общую сумму более 77,3 млрд рублей, что превысило показатель 2021 года более чем в 2,3 раза. Стоит отметить, что 40,9 млрд рублей выданы в качестве краткосрочных кредитов, а 36,4 млрд рублей – в виде инвестиционных.

По заявлению первого заместителя министра сельского хозяйства Ставропольского края Грищенко Е.Г. в 2022 году сумма одобренных кредитов с льготной ставкой превысила прошлогодний результат более чем в 2 раза и составила 20 млрд рублей. Указанный рост

выданной финансовой помощи в регионе соответствует общероссийскому показателю. В 2023 году в программе льготного кредитования приняли участие владельцы личных подсобных хозяйств, работники крестьянских (фермерских) хозяйств, что способствует их активному вовлечению в общую производственно-продовольственную цепочку региона [9, 10]. С начала 2024 года предприятия АПК региона получили 14,5 млрд руб. в качестве льготных кредитов из федерального бюджета, а также 2 млрд руб. из краевого. Полученные финансовые ресурсы направлены на развитие сельскохозяйственных производств по одиннадцати направлениям работы.

Выводы. Таким образом, проведенное исследование о проблемах производства продукции сельского хозяйства в контексте обеспечения продовольственной безопасности на региональном уровне, позволило сделать ряд выводов: во-первых, рассматриваемые вопросы носят стратегический характер, что предопределяет их актуальность и необходимость дальнейших исследований; во-вторых, современные реалии, связанные с деструктивными процессами, имеющими внешний характер, требуют от участников аграрного производства избирательности и стратегической последовательности; в третьих, роль государства в рассматриваемых процессах не сводится лишь к выделению финансовых ресурсов, но связана также с выстраиванием оптимальных условий механизма взаимодействия с участниками процесса; в четвертых, достижение оптимального уровня продовольственной безопасности на региональном уровне должно осуществляться с учетом культурно-исторических особенностей жизнедеятельности проживающего населения; в пятых, решение обозначенной проблематики имеет синергетический характер, в части социально-экономического развития сельских территорий.

Список использованной литературы:

1. *Оборин М.С.* Направления стратегического развития сельского хозяйства регионов-лидеров отрасли // Вестник НГИЭИ. 2024. № 4 (155). С. 78–88.
2. Информационный сайт УФСГС по СКФО. URL: <https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/>.pdf (дата обращения: 05.07.2024).
3. *Котенев А.Д., Герасимов А.Н. и др.* Современные тенденции обеспечения базовых составляющих экономической безопасности: монография. Ростов-на-Дону: РИНХ. 2023. 232 с.
4. *Котенев А.Д., Атмачев С.И., Бурлова Ю.А.* Качество жизни как важнейший показатель продовольственной безопасности государства (на примере концепции INNOCENTI) // Kant. 2021. № 2 (39). С. 72–76.
5. *Яковлева С.И., Дубинина Э.В.* Анализ состояния продовольственной безопасности региона (на примере Республики Башкортостан) // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 102-4. С. 83–87.
6. *Котенев А.Д., Терещенко О.В., Соловьева Л.В.* Уровень жизни населения как индикатор кадровой безопасности территории // Вестник КГМТУ. 2024. № 1. С. 130–138.
7. *Склярова Ю.М., Скляров И.Ю., Лапина Е.Н.* Анализ продовольственной безопасности Ставропольского края // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 4. С. 85–90.
8. Информационный сайт группы Kavkaz.Rbc. URL: <https://kavkaz.rbc.ru/kavkaz/freenews/63ebaa0c9a794727b9e06641> (дата обращения: 05.07.2024).
9. Информационный сайт Министерства сельского хозяйства Ставропольского края. URL: <https://mshsk.ru/ministries/info/news/18278/> (дата обращения: 05.07.2024).
10. *Дибурис К.М.* Оценка экспортного потенциала рыбохозяйственного комплекса в аспекте обеспечения региональной продовольственной безопасности // Вестник КГМТУ. 2024. № 1. С. 93–102.

References:

1. *Oborin M.S.* Napravleniya strategicheskogo razvitiya sel'skogo khozyaystva regionov-liderov

- otrasli [Directions for strategic development of agriculture in the leading regions of the industry]. *Vestnik NGIEI* [Bulletin of NGIEI], 2024, no. 4 (155), pp. 78–88. (In Russian).
2. *Information website of the Federal Service for State Tax Service of the North Caucasus Federal District* [Information site of the Federal Service for State Security for the North Caucasus Federal District]. (In Russian). Available at: <https://26.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/>.pdf (accessed 05.07.2024).
 3. Kotenev A.D., Gerasimov A.N. et al. *Sovremennyye tendentsii obespecheniya bazovykh sostavlyayushchikh ekonomicheskoy bezopasnosti* [Modern trends in ensuring basic components of economic security]. Rostov-on-Don, RINKH Publ., 2023, 232 p. (In Russian).
 4. Kotenev A.D. Atmachev S.I., Burlova Yu.A. *Kachestvo zhizni kak vazhneyshiy pokazatel' prodovol'stvennoy bezopasnosti gosudarstva (na primere kontseptsii INNOCENTI)* [Quality of life as the most important indicator of food security of the state (using the INNOCENTI concept as an example)]. *Kant* [Kant], 2021, no. 2 (39), pp. 72–76. (In Russian).
 5. Yakovleva S.I., Dubinina E.V. *Analiz sostoyaniya prodovol'stvennoy bezopasnosti regiona (na primere Respubliki Bashkortostan)* [Analysis of the state of food security in the region (on the example of the Republic of Bashkortostan)]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education], 2023, no. 102-4, pp. 83–87. (In Russian).
 6. Kotenev A.D., Tereshchenko O.V., Solov'yeva L.V. *Uroven' zhizni naseleniya kak indikator kadrovoy bezopasnosti territorii* [Standard of living of the population as an indicator of personnel security of the territory]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KGMTU], 2024, no. 1, pp. 130–138. (In Russian).
 7. Sklyarova Yu.M., Sklyarov I.Yu., Lapina Ye.N. *Analiz prodovol'stvennoy bezopasnosti stavropol'skogo kraya* [Analysis of food security of the Stavropol Territory]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Economics of Agriculture of Russia], 2020, no. 4, pp. 85–90. (In Russian).
 8. *Informatsionnyy sayt grupy Kavkaz.Rbc.* [Information site of the Kavkaz.Rbc group]. (In Russian). Available at <https://kavkaz.rbc.ru/kavkaz/freenews/63ebaa0c9a794727b9e06641>. (accessed 05.07.2024).
 9. *Informatsionnyy sayt ministerstva sel'skogo khozyaystva Stavropol'skogo kraya* [Information website of the Ministry of Agriculture of Stavropol Krai]. (In Russian). Available at: <https://mshsk.ru/ministries/info/news/18278/> (accessed 05.07.2024).
 10. Diburis K.M. *Otsenka eksportnogo potentsiala rybokhozyaystvennogo kompleksa v aspekte obespecheniya regional'noy prodovol'stvennoy bezopasnosti* [Assessment of the export potential of the fisheries complex in terms of ensuring regional food security]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KGMTU], 2024, no. 1, pp. 93–102. (In Russian).

Сведения об авторе / Information about author

Будагов	аспирант
Никита Ваанович	Северо-Кавказский социальный институт 355012, г. Ставрополь, ул. Голенева, 59А n.v.budagov@mail.ru
Budagov	postgraduate student
Nikita Vaanovich	North Caucasus Social Institute 355012, Stavropol, Goleneva str., 59A n.v.budagov@mail.ru

УДК 658.516

Лаптева Е.П., Доскач Л.А.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА «РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИИ РЫБНОЙ
ОТРАСЛИ» С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ
ИНТЕГРИРОВАНИЯ**

Аннотация. Статья посвящена разработке методических основ по созданию ИСМ на предприятиях рыбной отрасли с учетом различных подходов интеграции. Проведенный анализ подходов к интеграции показал, что существует три подхода к интеграции различных систем менеджмента, каждый подход имеет свои преимущества и недостатки, но выбор подхода остается за предприятием, в связи с чем в работе были определены основные закономерности разработки интегрированной системы менеджмента на основе интегрированного, параллельного и последовательного подходов на предприятии рыбной отрасли. Для проектирования модели интегрированной системы менеджмента на основе интегрированного подхода было выбрано графическое моделирование в виде блок-схемы. Для параллельного и последовательного подходов проектирования интегрированной системы менеджмента была построена модель на основе функционального моделирования в методологии IDEF0. Данные модели дают наглядное понимание всех действий, а также отражают функции и задачи каждого этапа, и характер взаимосвязей между ними. Построенные модели способны обеспечить полное представление, как о функционировании процесса создания интегрированной системы менеджмента, так и обо всех имеющихся потоках информации.

Ключевые слова: интегрированная система менеджмента, система менеджмента безопасности пищевой продукции, система экологического менеджмента, подходы интеграции, графическое моделирование, методология функционального моделирования IDEF0.

Lapteva E.P., Doskach L.A.

**MODELING THE PROCESS “DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN
INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM AT AN FISHING INDUSTRY ENTERPRISE”
TAKEN INTO ACCOUNT OF THE FEATURES OF DIFFERENT INTEGRATION
APPROACHES**

Abstract. The article is devoted to the development of methodological foundations for the creation of IMS at fishing industry enterprises, taking into account various integration approaches. The analysis of approaches to integration showed that there are three approaches to the integration of various management systems, each approach has its own advantages and disadvantages, but the choice of approach remains with the enterprise, and therefore the main principles of developing an integrated management system based on integrated, parallel and sequential approaches at a fishing industry enterprise. To design a model of an integrated management system based on an integrated approach, graphical modeling in the form of a block diagram was chosen. For parallel and sequential approaches to designing an integrated management system, a model was built based on functional modeling in the IDEF0 methodology. These models provide a visual understanding of all actions, and reflect the functions and tasks of each stage, and the nature of the relationships between them. The constructed models are able to provide a complete picture of both the functioning of the process of creating an integrated management system and all available information flows.

Keywords: integrated management system, food safety management system, environmental management system, integration approaches, graphical modeling, IDEF0 functional modeling methodology.

Введение. В настоящее время конкурентоспособность предприятия напрямую зависит от удовлетворенности потребителей, что в свою очередь неразрывно связано с качеством и безопасностью выпускаемой продукции. В связи с этим, организации на постоянной основе анализируют и выбирают для использования различные инструменты, которые позволят обеспечить соблюдение законодательных и отраслевых требований. Одним из таких инструментов является интегрированная система менеджмента (ИСМ). Под интегрированной системой менеджмента понимается часть менеджмента предприятия, соответствующая требованиям международных стандартов на системы менеджмента.

Предприятия рыбной отрасли имеют свои особенности. Рыбная продукция, несоответствующая требованиям безопасности, является потенциальной угрозой жизни и здоровья граждан. Обеспечивать контроль за безопасностью рыбной продукции на всех этапах ее жизненного цикла позволяют процедуры на основе принципов ХАССП. Согласно ТР ТС 021/2011 [1] «все предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности обязаны внедрить процедуры контроля на основе принципов ХАССП с 15 февраля 2015 года». Если система ХАССП касается контроля только производства, то система менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП) по ГОСТ Р ИСО 22000-2019 [2] более обширная система и ее можно представить, как сочетание принципов ХАССП и требований системы менеджмента качества (СМК) по ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [3]. Наличие системы менеджмента безопасности пищевой продукции является необходимостью, данная система позволит обеспечивать не только безопасность рыбной продукции, но и ее качество.

Производство рыбной продукции сопряжено с высокой степенью влияния на окружающую среду, а именно с загрязнением воздушной и водной среды. Большое потребление водных ресурсов на предприятиях приводит к большому образованию и сбросу сточных вод, при этом в зависимости от вида выпускаемой продукции и применяемых методов обработки рыбного сырья сточные воды имеют разную степень загрязненности, что в свою очередь влияет на окружающую среду. Как правило сточные воды предприятий, перерабатывающих водные биологические ресурсы, содержат большое количество белковых соединений, жира, а также и органических соединений, так как при производстве копченой продукции обязательно проводится мойка коптильных камер и все что оседает на стенки камер при копчении смывается водой и уходит в сточные воды. Все вышеперечисленные воздействия от производства на окружающую среду могут быть минимизированы за счет разработки и внедрения системы экологического менеджмента (СЭМ) по ГОСТ Р ИСО 14001-2016 [4]. Исходя из этого видно, что рыбные предприятия нуждаются в эффективном инструменте, предотвращающем экологические загрязнения и санитарно-микробиологическую и гигиеническую безопасность рыбной продукции. Таким инструментом может стать интегрированная система менеджмента (ИСМ), включающая в себя две системы менеджмента: первая базовая система – это система менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП) и вторая – система экологического менеджмента (СЭМ) [5].

Вопросу применения интегрированной системы менеджмента на предприятиях посвящен большой объем публикаций. Но в известных работах отсутствует обоснованный методический подход к созданию ИСМ, учитывающий особенности производственных процессов предприятий рыбной отрасли. На данный момент существует только один стандарт ГОСТ Р 58542-2019 «Интегрированные системы менеджмента. Руководство по практическому применению» [6], который определяет требования к ИСМ, но не отражает алгоритм необходимых действий для предприятий, желающих разработать интегрированную систему. Поэтому создание методического обеспечения разработки интегрированной системы менеджмента является актуальной проблемой.

Исходя из вышеизложенного, **целью исследования** является моделирование процесса «Разработка и внедрение интегрированной системы менеджмента на предприятии рыбной отрасли» с учетом особенностей различных подходов интегрирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ принципов и особенностей различных подходов интегрирования

элементов ИСМ;

- моделирование этапов процесса «Разработка и внедрение интегрированной системы менеджмента на предприятии рыбной отрасли» с учетом особенностей интегрированного подхода;

- моделирование этапов процесса «Разработка и внедрение интегрированной системы менеджмента на предприятии рыбной отрасли» с учетом особенностей параллельного и последовательного подходов.

Материалы и методы исследования. Первый этап работ по созданию типового алгоритма разработки интегрированной системы менеджмента для предприятий рыбной отрасли был отражен в работе Е.П. Лаптевой, Л.А. Доскач «Методическое обеспечение интегрированной системы менеджмента качества для предприятий рыбной отрасли». В работе был определен порядок организации работ по установлению требований к ИСМ. На основании сравнительного анализа были определены требования к интегрированной системе и составлены рекомендации по документированной информации [7]. С целью конкретизации и детализации разработанного подготовительного этапа разработки ИСМ было принято решение о применении методологии функциональных моделей IDEF0. В статье Е.П. Лаптевой, Л.А. Доскач «Использование функциональной модели IDEF0 в процессе разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли» [8] была представлена разработанная модель «Порядок организации работ по установлению требований к ИСМ» на основе применения функциональной методологии IDEF0, а также алгоритм подготовительного этапа разработки ИСМ в виде функциональных блоков. На каждом этапе блок-схемы «Порядок организации работ по установлению требований к ИСМ» были определены, описаны основные риски и установлены причинно-следственные связи с помощью диаграммы Исикавы. Определены предупреждающие действия и мероприятия по снижению уровня опасности. Результаты были представлены в статье «Идентификация рисков подготовительного этапа разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли» [9].

После того как был разработан проект ИСМ и осуществлены действия подготовительного этапа, необходимо составить алгоритм разработки и внедрения интегрированной системы менеджмента на предприятии.

В работе были использованы общенаучные методы: анализ и синтез; абстрагирование; моделирование; обобщение.

Результаты исследования и их обсуждение. Для проектирования интегрированного подхода разработки и внедрения ИСМ на предприятии рыбной отрасли был выбран способ графического моделирования в виде блок-схемы. Разработка и внедрение ИСМ интегрированным подходом осуществляется в несколько этапов:

- диагностический аудит существующей системы менеджмента или элементов систем менеджмента на предприятии;
- обучение сотрудников;
- проектирование и разработка документации ИСМ;
- внутренний аудит.

Для того чтобы приступить к разработке ИСМ руководству организации необходимо уточнить состав рабочей группы, в том случае если ранее на предприятии уже была создана такая группа. Ранее в работе [7] был предусмотрен этап по созданию рабочей группы, которая включала в себя внешних экспертов и специалистов по СМБПП и СЭМ. Если для дальнейших работ нужны дополнительные специалисты, то руководству надо скорректировать состав, внести изменения в состав рабочей группы и утвердить изменения к приказу.

Рабочая группа после возможных изменений приступает к важному этапу – диагностический аудит. Диагностический аудит проводится в целях первичной оценки системы управления организации для дальнейшего эффективного планирования и реализации проекта по внедрению ИСМ.

Проводится сравнительный анализ действующей системы на предприятии и

требований к интегрированной системе менеджмента, идентифицированных на подготовительном этапе и закрепленных в СТО «Интегрированная система менеджмента. Требования», в данном стандарте описаны общие и специальные требования ГОСТ Р ИСО 14001 и ГОСТ Р ИСО 22000, а также перечень необходимых документов, процедур и записей для эффективного функционирования ИСМ. Рабочая группа разрабатывает чек-листы, представляющие собой списки необходимых требований, документов, записей и процедур, в которых эксперты отмечают наличие или отсутствие на предприятии данных элементов, а также их соответствие стандарту. В результате проведенных работ составляется документ, в котором содержится перечень необходимой и недостающей документации. Данный этап проводится с целью устранения дублирования работ и документов, а также их противоречия друг другу.

Далее специалисты должны провести анализ всех процессов организации, для того чтобы выявить места для улучшения. В результате этого этапа рабочая группа составляет подробный отчет об уровне соответствия процессов необходимым требованиям.

Далее для рабочей группы стоит задача оценить эффективность системы менеджмента или отдельных элементов систем, которые действуют на предприятии. Необходимо собрать данные о выполнении персоналом их должностных обязанностей, жалоб от потребителей, о количестве выявленной несоответствующей продукции, а также о результатах их исправления и т.д.

По результатам диагностического аудита составляется отчет о соответствии деятельности организации требованиям ИСМ с рекомендациями по дальнейшей разработке и составляется план-график разработки и внедрения ИСМ в организации с подробным описанием всех работ. План-график строится в произвольной форме, который удобен для рабочей группы. Он может быть выполнен в виде электронной таблицы, или же при помощи графических редакторов в виде сетевых графиков, дорожных карт, канбан-доски и т.д.

Обучение сотрудников организации требованиями и принципам интегрированной системы менеджмента является следующим этапом разработки и внедрения ИСМ.

На следующем этапе в ходе совместной работы внешних консультантов и сотрудников предприятия разрабатывается документированная информация по общим и специфическим требованиям стандартов ГОСТ Р ИСО 22000-2019 и ГОСТ Р ИСО 14001-2016.

После разработки документированной информации ИСМ, необходимо ее внедрить, т.е. провести ее апробацию на рабочих местах с обучением персонала выполнению процессов в соответствии с документированной информацией.

После проведения апробации необходимо провести анализ и, если необходимо скорректировать процесс или документируемую информацию. Проведя работы по внедрению документации необходимо провести первый сплошной внутренний аудит.

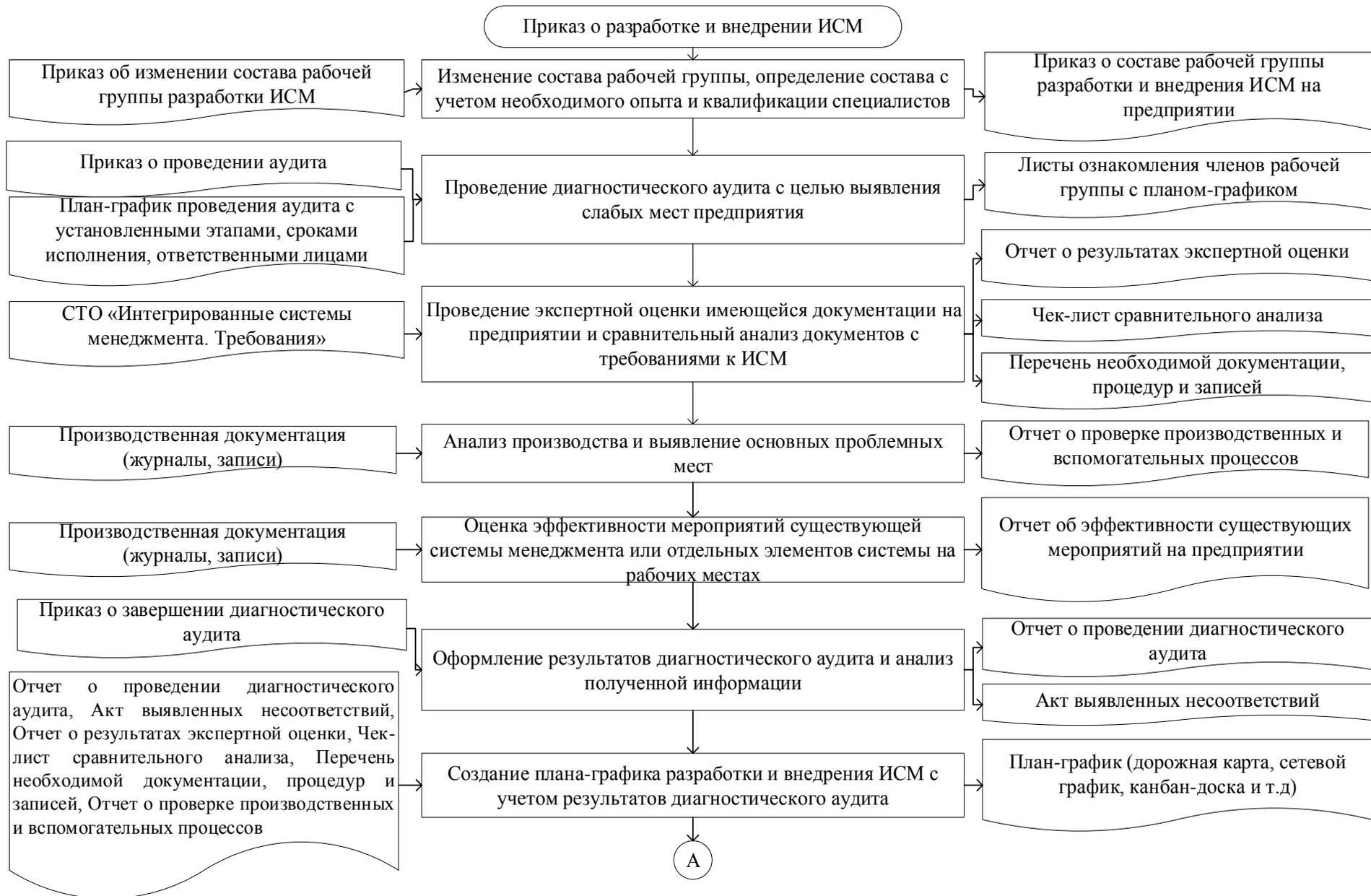
Внутренний аудит проводится в соответствии ГОСТ Р ИСО 19011-2021 «Оценка соответствия. Руководящие указания по проведению аудита систем менеджмента» [10]. Внутренний аудит проводится для того, чтобы проверить, что ИСМ соответствует установленным требованиям и принять решение о готовности предприятия к процедуре сертификации ИСМ.

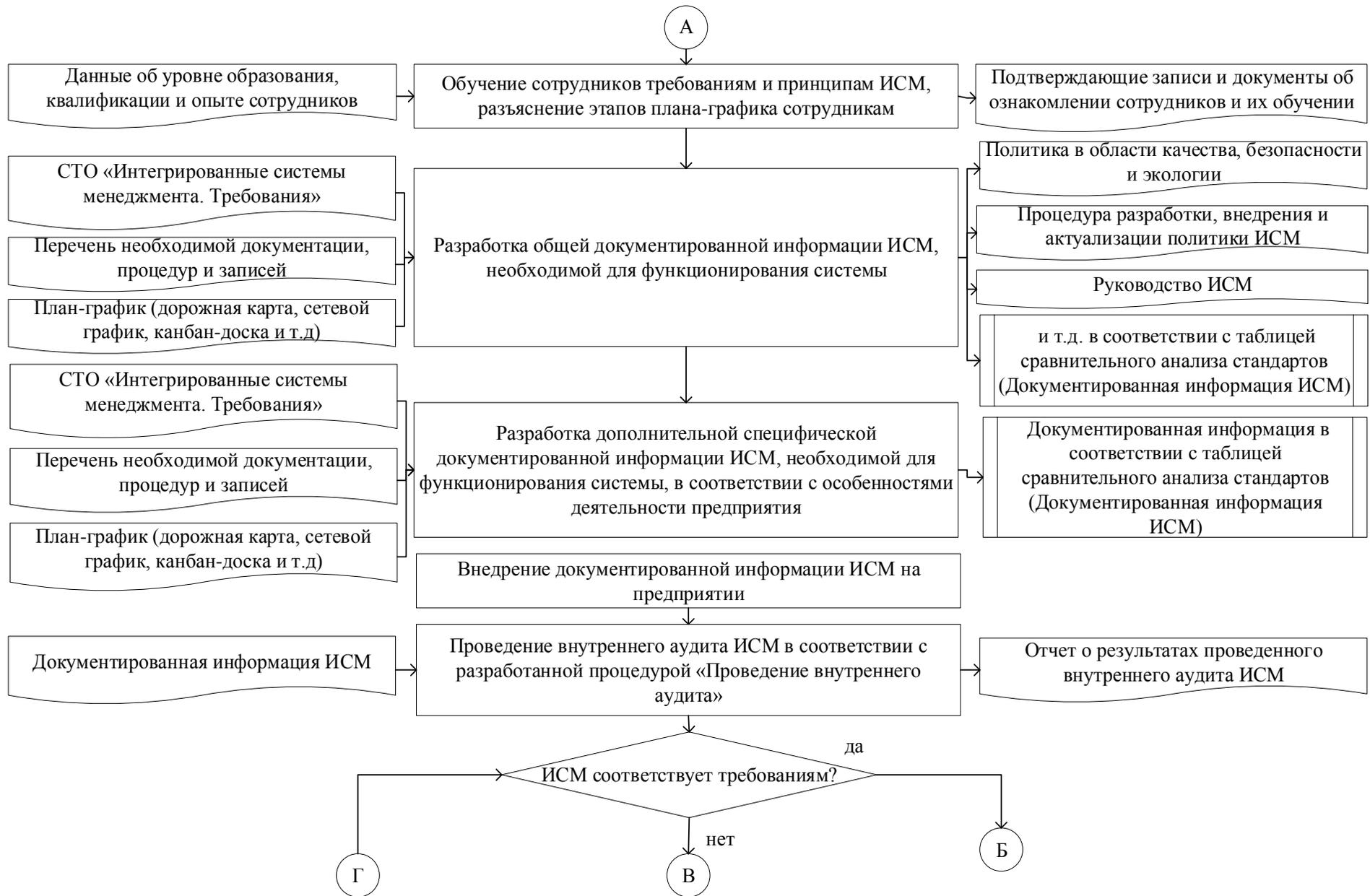
Если в результате аудита выявлены несоответствия необходимо разработать план мероприятий по реализации корректирующих действий с целью их устранения.

Рабочая группа после проведения аудита, в результате которого не выявлены несоответствия разработанной системы, передает высшему руководству соответствующие документы и записи о проведенных работах для дальнейшего решения.

Руководство, ознакомившись с результатами внутреннего аудита, издает приказ о завершении разработки ИСМ. Перед дальнейшей сертификацией рекомендуется протестировать ИСМ в течение продолжительного периода в целях выявления несоответствий. Если поддержание ИСМ стабильно и в ходе работы нет серьезных недочетов, то целесообразно начать процесс сертификации ИСМ.

Разработанная блок-схема процесса «Разработка и внедрение интегрированной системы менеджмента на предприятии рыбной отрасли» представлена на рисунке 1.





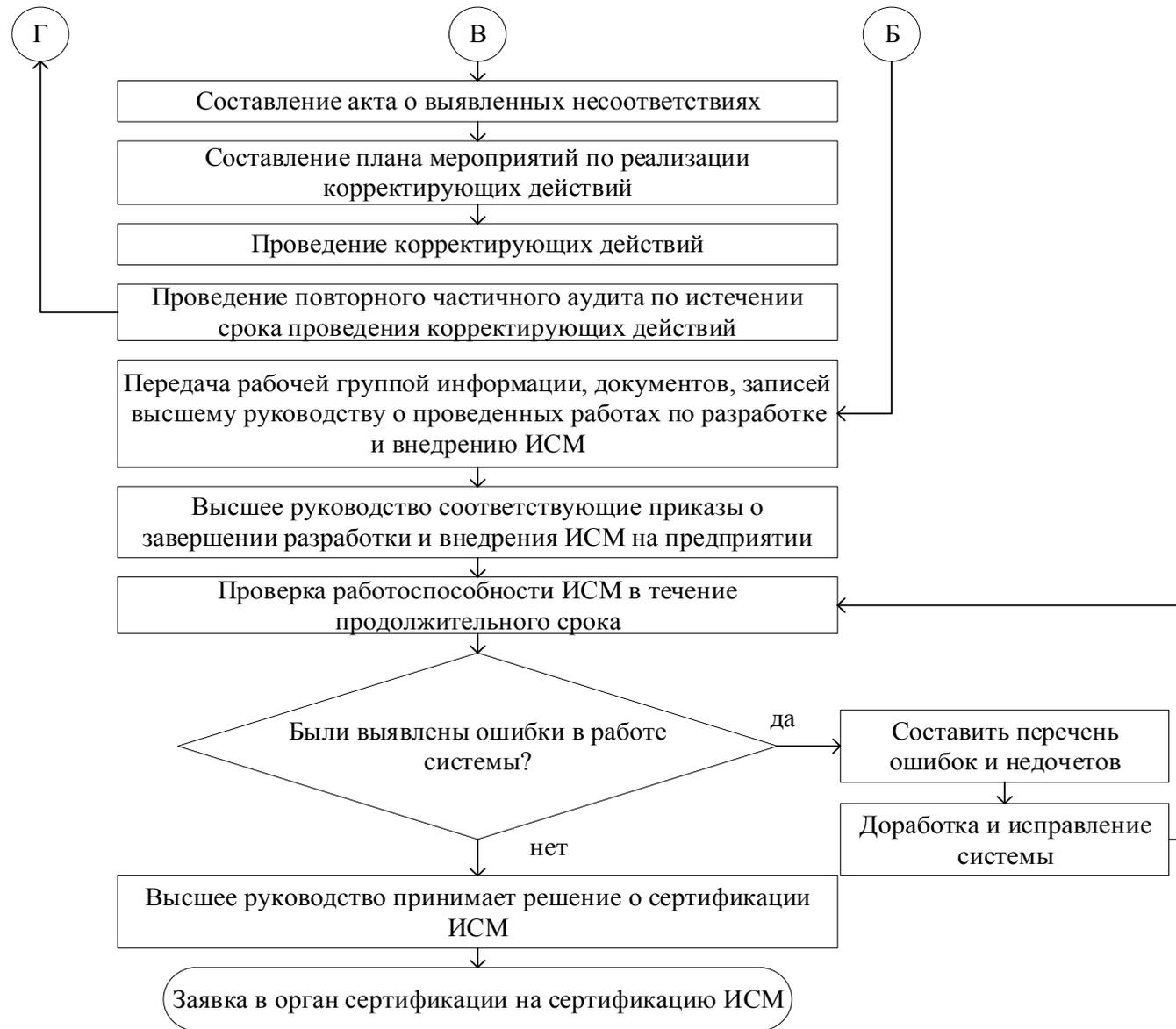


Рисунок 1 – Разработка и внедрение ИСМ на предприятии рыбной отрасли при применении интегрированного подхода

Для предприятий, желающих разработать и внедрить ИСМ с использованием последовательного или параллельного подходов, было принято решение о проектировании процесса «Разработки и внедрение ИСМ на предприятии рыбной отрасли» на основе функциональной методологии IDEF0.

Последовательный подход подразумевает, что на предприятии уже существует базовая система менеджмента, и предприятию необходимо выбрать тип присоединения систем: одновременный или последовательный. Время разработки ИСМ по такой модели может быть очень длительным [11].

Второй подход – это параллельная модель. Параллельная разработка – это процесс создания автономных систем менеджмента и, после проверки работоспособности этих систем, интеграция в единую систему. В этом варианте все дополнительные системы создаются одновременно, проходят верификацию на предприятии, системы по результатам проверки дорабатываются и объединяются в единую систему. Они представляют собой изолированные структуры, имеющие свою собственную систему документации. Содержание этих систем может сопоставляться только посредством специальных перекрестных справочных листов [12].

Первым функциональным блоком А1 является блок «Корректировка состава рабочей группы» (рисунок 2). Руководитель рабочей группы предпринимает действия по изменению состава группы в случае, если действующие участники говорят о необходимости дополнительных специалистов определенной квалификации. Входом в данный блок являются документы об опыте и квалификации претендентов. По результатам рассмотрения документов и отбора определяются новые члены рабочей группы, издается приказ об изменении состава рабочей группы.

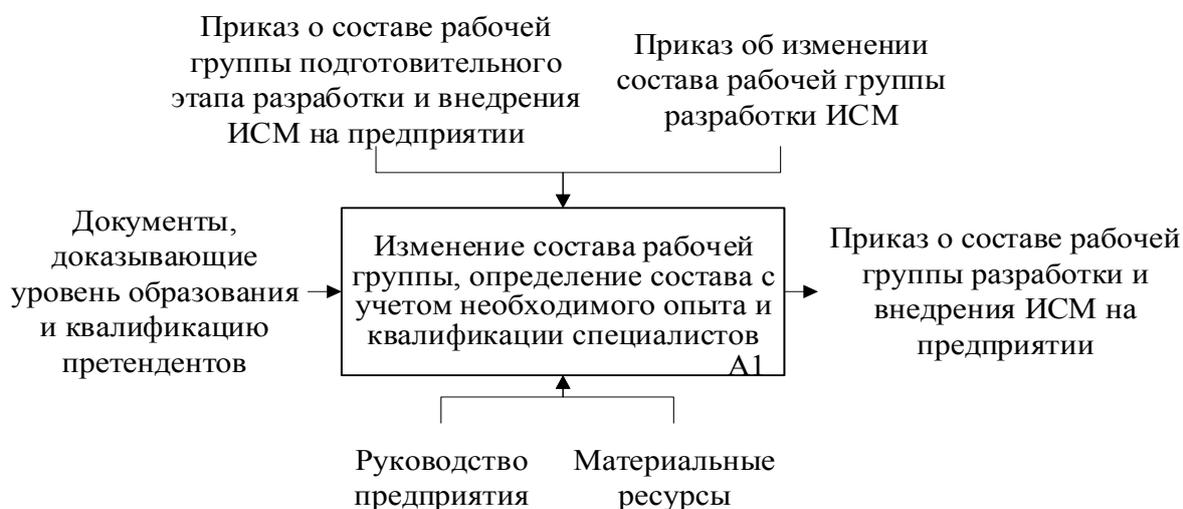


Рисунок 2 – Функциональный блок А1 «Корректировка состава рабочей группы»

Следующий функциональный блок А2 касается проведения диагностического аудита. Диагностический аудит проводится рабочей группой в целях оценки эффективности мероприятий в рамках действующих на предприятии систем менеджмента, определяются пути решения выявленных проблем, определяется соответствие отдельных элементов деятельности организации требованиям ИСМ, определяется перечень необходимой документации ИСМ. Входом является приказ о составе рабочей группы и производственная документация. В приказе указываются ответственные лица и функциональные обязанности членов группы, в том числе, которые касаются проведения аудита. Имеющаяся документация на предприятии необходима для сравнительного анализа требований. Выходом является ряд документов с результатами аудита (рисунок 3):

- отчет о результатах экспертной оценки;

- чек-лист сравнительного анализа; перечень необходимой документации, процедур и записей;
- отчет о проверке производственных и вспомогательных процессов;
- отчет об эффективности существующих мероприятий на рабочих местах;
- общий отчет о проведении диагностического аудита;
- акты выявленных несоответствий и приказ о завершении диагностического аудита.



Рисунок 3 – Функциональный блок А2 «Проведение диагностического аудита»

Функциональный блок А3 содержит в себе информацию о создании плана-графика разработки ИСМ. По результатам диагностического аудита разрабатывается план-график разработки и внедрения ИСМ в организацию с подробным описанием всех работ. Входной информацией для создания плана-графика является документация, полученная в результате диагностического аудита. На рисунке 4 представлен функциональный блок А3.

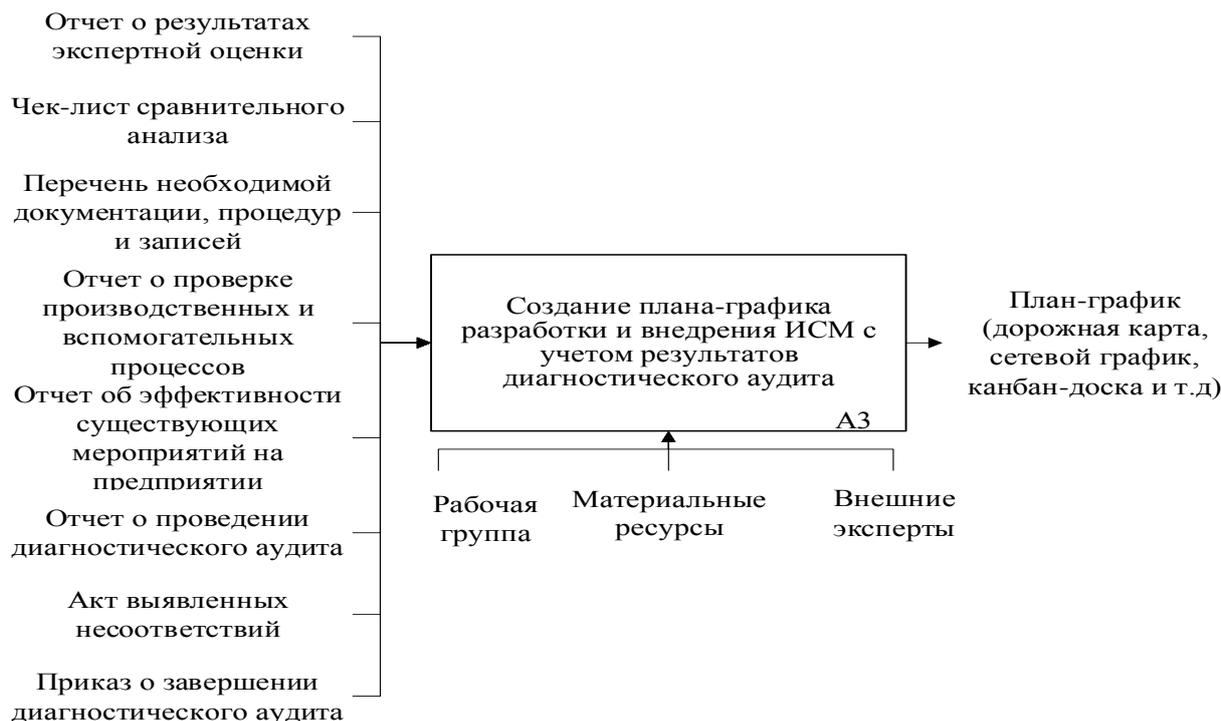


Рисунок 4 – Функциональный блок А3 «Создание плана-графика разработки и внедрения ИСМ по результатам диагностического аудита»

Обучение сотрудников организации требованиям и принципам ИСМ является следующим блоком. Обучение выполняется в соответствии с планом-графиком. Для начала обучения необходимы данные об уровне образования сотрудников. Высшим руководством заключается договор с образовательными центрами по прохождению обучения сотрудников. Результатом обучения являются подтверждающие записи и документы. На рисунке 5 представлен функциональный блок А4.

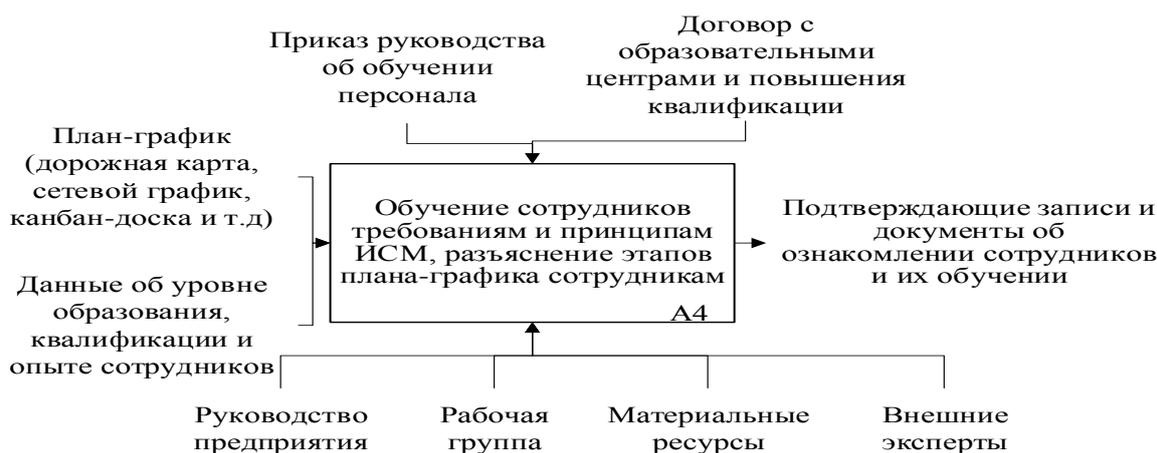


Рисунок 5 – Функциональный блок А4 «Обучение сотрудников»

Разработка документации ИСМ происходит в соответствии с планом-графиком, перечнем необходимой документации, который был составлен при диагностическом аудите и в соответствии с требованиями к ИСМ, которые были установлены на подготовительном этапе. В результате получаем систему документов, записей и процедур, которая является основой функционирования ИСМ на предприятии. На рисунке 6 представлен функциональный блок А5 «Разработка документации ИСМ».



Рисунок 6 – Функциональный блок А5 «Разработка документации ИСМ»

Следующий функциональный блок А6 описывает разработку и внедрение специфических требований двух систем (СЭМ, СМБПП) на основе параллельного и последовательного подходов (рисунок 7).

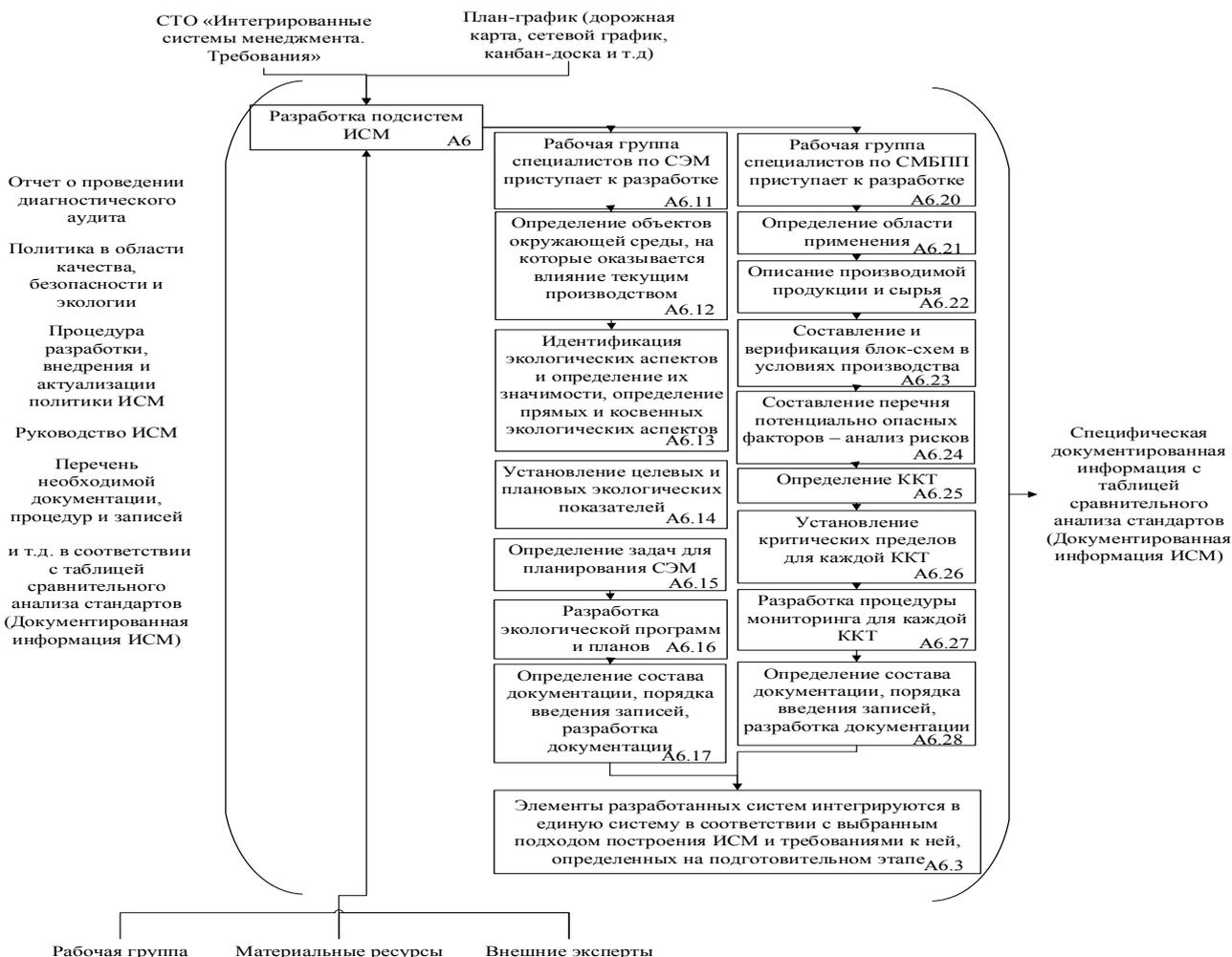


Рисунок 7 – Функциональный блок А6 «Разработка подсистем ИСМ»

Системы разрабатываются в соответствии ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [5] и ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции» [6].

Разработанные подсистемы интегрируются в единую систему при применении подхода, который был выбран на подготовительном этапе: последовательном или параллельном.

Входом в данный блок является полученная ранее информация и документация ИСМ, необходимая для ее функционирования. В результате на выходе получаем документацию СМБПП и СЭМ, доказывающую функционирование этих систем на предприятии.

Функциональный блок А7 содержит в себе информацию по внедрению документированной информации на предприятие после разработки (рисунок 8).



Рисунок 8 – Функциональный блок А7 «Внедрение документированной информации ИСМ»

Следующим этапом является проведение внутреннего аудита. Входом в блок является разработанная система документации, записей и процедур ИСМ. Выходом является отчет о результатах аудита, акты о выявленных несоответствиях и план мероприятий по реализации действий для устранения несоответствий, а также отчет о их выполнении (рисунок 9).

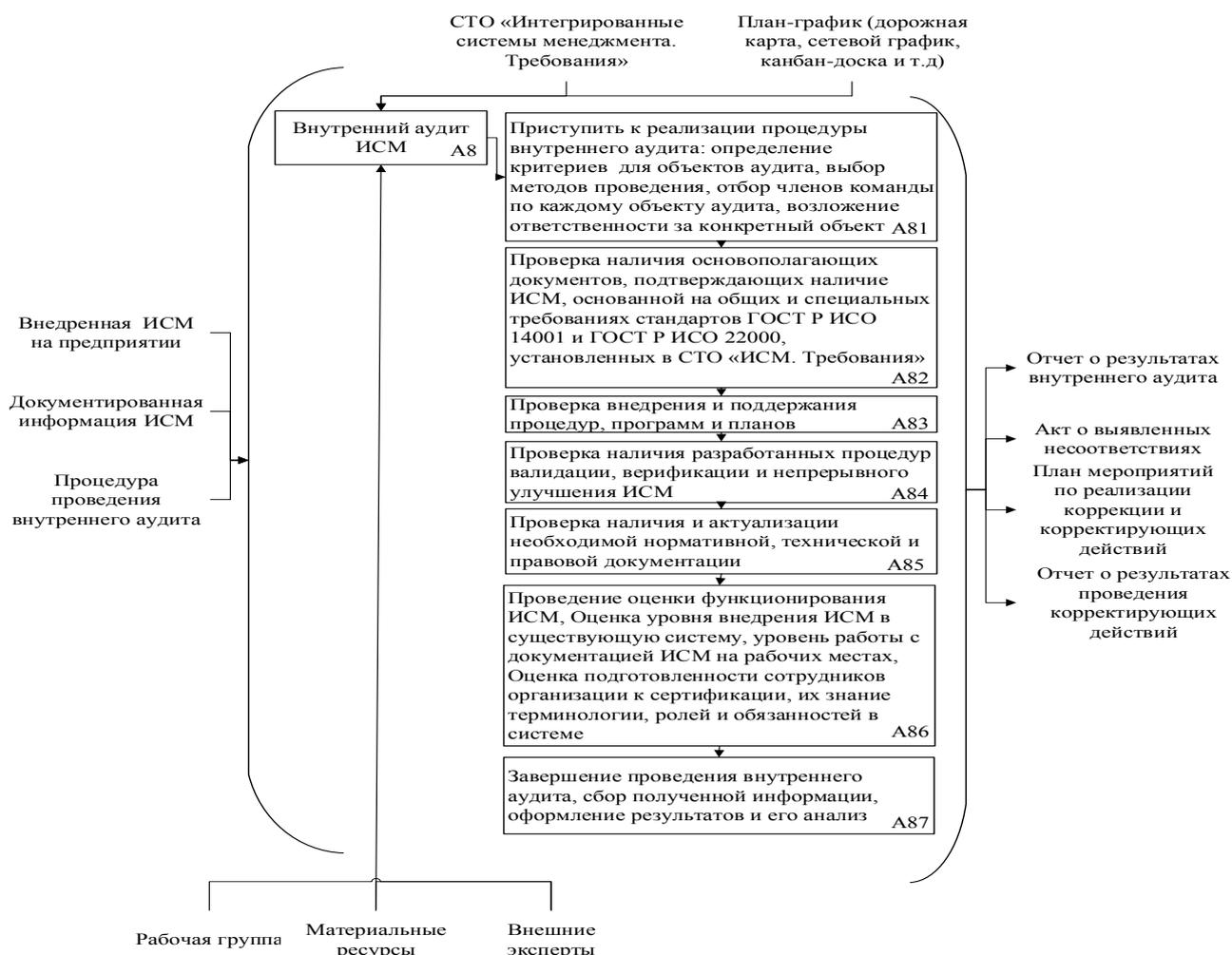


Рисунок 9 – Функциональный блок А8 «Внутренний аудит ИСМ»

В блоке А8 (рисунок 10) содержится информация о действиях рабочей группы после проведения проверки. Руководитель рабочей группы после проведения аудита, в результате которого не выявлены несоответствия разработанной системы, передает высшему

руководству соответствующие документы и записи о проведенных работах для дальнейшего решения. Входом в блок является документация, полученная в ходе проверки. Выходом – приказ руководства о завершении разработки ИСМ.



Рисунок 10 – Функциональный блок А8 «Завершение разработки ИСМ»

Перед дальнейшей сертификацией рекомендуется протестировать ИСМ в течение продолжительного периода в целях выявления несоответствий. В блоке А9 на рисунке 11 представлен этап проверки работоспособности разработанной интегрированной системы менеджмента.



Рисунок 11 – Функциональный блок А9 «Проверка работоспособности ИСМ»

Если поддержание ИСМ стабильно и в ходе работы нет серьезных недочетов, то целесообразно начать процесс сертификации ИСМ. Входом в блок А10 является документированная информация, полученная в ходе работы ИСМ на предприятии, выходом – заявка в орган сертификации (рисунок 12).



Рисунок 12 – Функциональный блок А10 «Сертификация ИСМ»

В результате проведенных исследований была разработана функциональная модель «Разработка и внедрение ИСМ на предприятиях рыбной отрасли» при применении параллельного и последовательного подхода на основе применения функциональной методологии IDEF0 (рисунок 13).

Выводы. В результате проведенных исследований был обоснован и разработан методический подход по созданию ИСМ на предприятиях рыбной отрасли, который включает: обоснование выбора систем менеджмента для интеграции; определение порядка организации работ по установлению требований к интегрированной системе менеджмента; идентификацию элементов для интегрирования в единую систему; идентификацию рисков подготовительного этапа разработки; разработку модели подготовительного этапа с использованием методологии IDEF0 и моделей процесса «Разработка и внедрение интегрированной системы менеджмента на предприятиях рыбной отрасли» с учетом различных подходов интеграции. Спроектированные модели частично пересекаются между собой. Основное отличие между ними заключается в том, что при применении интегрированного подхода проектирование, разработка и внедрение всех систем происходит одновременно, в то время как при использовании параллельного и последовательного подхода разработка подсистем ИСМ проводится отдельно и только после этого они сливаются в единую систему.

Список использованной литературы:

1. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» № 880 от 09.12.2011. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 24.06.2024).
2. ГОСТ Р ИСО 22000-2019. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции. М.: Стандартинформ, 2019. 41 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 24 с.
4. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ, 2018. 31 с.
5. Лантева Е.П., Доскач Л.А. Использование интегрированной системы менеджмента, как инструмента управления качеством на предприятиях рыбной отрасли // Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов мирового океана». Владивосток: Дальрыбвтуз, 2024. С. 384–386.
6. ГОСТ Р 58542-2019. Интегрированные системы менеджмента. Руководство по практическому применению. М.: Стандартинформ, 2020. 35 с.
7. Лантева Е.П., Доскач Л.А. Методическое обеспечение интегрированной системы менеджмента качества для предприятий рыбной отрасли // Материалы Национальной научно-технической конференции «Перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: техника, технологии и управление качеством». Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. С. 109–111.
8. Лантева Е.П., Доскач Л.А. Использование функциональной модели IDEF0 в процессе разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 65. № 3. С. 19–28.
9. Лантева Е.П., Доскач Л.А. Идентификация рисков подготовительного этапа разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67. № 1. С. 58–65.
10. ГОСТ Р ИСО 19011-2021. Оценка соответствия. Руководящие указания по проведению аудита систем менеджмента. М.: Стандартинформ, 2021. 36 с.
11. Гусов А.З. Управление предприятием как социально-экономической системой // Ученые записки Российской Академии предпринимательства. 2008. № XII. С. 54–68.
12. Ермолаева Е.О., Сурков И.В., Устинова Ю.В. Интегрированные системы менеджмента: учебное пособие. Кемерово: КемГУ, 2017. 150 с.

References:

1. *TR TS 021/2011. O bezopasnosti pishchevoy produktsii* [Technical Regulations 021/2011. On the safety of food products]. (In Russian). Available at:

<https://docs.cntd.ru/document/902320560> (accessed 24.06.2024).

2. *GOST R ISO 22000-2019. Sistemy menedzhmenta bezopasnosti pishевой produktsii. Trebovaniya k organizatsiyam, uchastvuyushim v cipi sozdaniya pishевой produktsii Vved.* [State Standard ISO 22000-2019. Food safety management systems. Requirements for organizations involved in the food chain]. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 41 p. (In Russian).
3. *GOST R ISO 9001-2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya* [State Standard R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 24 p. (In Russian)
4. *GOST R ISO 14001-2016. Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu* [State Standard R ISO 14001-2016. Environmental management systems. Requirements and instructions for use]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 31 p.
5. Lapteva E.P., Doskach L.A. Ispol'zovaniye integrirovannoy sistemy menedzhmenta, kak instrumenta upravleniya kachestvom na predpriyatiyakh rybnoy otrasli [The use of an integrated management system as a quality management tool in the fishing industry] *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy osvoyeniya biologicheskikh resursov mirovogo okeana»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Current Problems of the Development of Biological Resources of the World Ocean”]. Vladivostok, 2024, pp. 384–386. (In Russian).
6. *GOST R 58542-2019. Integrirovannyye sistemy menedzhmenta. Rukovodstvo po prakticheskomu primeneniyu.* [State Standard R 58542-2019. Integrated management systems. Guide to practical application]. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 35 p. (In Russian).
7. Lapteva E.P., Doskach L.A. Metodicheskoye obespecheniye integrirovannoy sistemy menedzhmenta kachestva dlya predpriyatiy rybnoy otrasli [Methodological support for an integrated quality management system for enterprises in the fishing industry]. *Materialy Natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Perspektivy razvitiya pishchevoy promyshlennosti i obshchestvennogo pitaniya: tekhnika, tekhnologii i upravleniye kachestvom»* [Proceedings of the National Scientific and Technical Conference “Prospects for the development of the food industry and public catering: technology, technology and quality management”]. Vladivostok, 2023. pp. 109–111. (In Russian).
8. Lapteva E.P., Doskach L.A. Ispol'zovaniye funktsional'noy modeli IDEF0 v protsesse razrabotki integrirovannykh sistem menedzhmenta dlya predpriyatiy rybnoy otrasli [Using the IDEF0 functional model in the process of developing integrated management systems for fishing industry enterprises]. *Nauchnyye trudy Dal'rybvтуza* [Scientific works of Dalrybvтуz], 2023, vol. 65, no. 3, pp. 19–28. (In Russian).
9. Lapteva Ye.P., Doskach L.A. Identifikatsiya riskov podgotovitel'nogo etapa razrabotki integrirovannykh sistem menedzhmenta dlya predpriyatiy rybnoy otrasli [Identification of risks of the preparatory stage of development of integrated management systems for enterprises of the fishing industry]. *Nauchnyye trudy Dal'rybvтуza* [Scientific works of Dalrybvтуz], 2024, vol. 67, no. 1, pp. 58–65. (In Russian).
10. *GOST R ISO 19011-2021. Otsenka sootvetstviya. Rukovodyashchiye ukazaniya po provedeniyu audita sistem menedzhmenta.* [State Standard R ISO 19011-2021. Conformity assessment. Guidelines for conducting audits of management systems]. Moscow, Standartinform Publ., 2021, 36 p. (In Russian).
11. Gusov A.Z. Upravleniye predpriyatiyem kak sotsial'no-ekonomicheskoy sistemoy [Management of an enterprise as a socio-economic system]. *Uchenyye zapiski Rossiyskoy Akademii predprinimatel'stva* [Scientific notes of the Russian Academy of Entrepreneurship], 2008, no. 12, pp. 54–68. (In Russian).
12. Yermolayeva Ye.O., Surkov I.V., Ustinova Yu.V. *Integrirovannyye sistemy menedzhmenta* [Integrated management systems]. Kemerovo, Kemerovo State University Publ., 2017, 150 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Лаптева Евгения Петровна	канд. техн. наук, доцент кафедры управления техническими системами Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б lapteva.ep@dgtru.ru
Lapteva Evgenia Petrovna	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of Management Technical Systems Far Eastern State Technical Fisheries University 690087, Primorsky Krai, Vladivostok, Lugovaya str., 52B lapteva.ep@dgtru.ru
Доскач Лидия Анатольевна	магистрант 2-го курса направления подготовки «Стандартизация и метрология» Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б doskachlida724@gmail.com
Doskach Lidiya Anatolyevna	master's student of the 2nd year of the training direction "Standardization and Metrology" Far Eastern State Technical Fisheries University 690087, Primorsky Krai, Vladivostok, Lugovaya str., 52B doskachlida724@gmail.com

УДК 657.1.011.56

Рысина В.А.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОРГАНИЗАЦИИ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА

Аннотация. В статье изучены основные тренды использования технологий ИИ в организации и ведении бухгалтерского учета и связанных в контексте с этим изменений. Рассмотрена организация первичного документооборота учета в условиях применения технологий ИИ. Составлена схема функционирования искусственного интеллекта в системе ПУД. Выявлено, что сервисы ИИ в бухгалтерском учете экономят трудовые и финансовые ресурсы организации. Дана характеристика российских бухгалтерских интеллектуальных сервисов. Перечислены основные перспективы развития учета в цифровом пространстве. Установлено, что технологии искусственного интеллекта в сфере бухгалтерского учета – это действенный инструмент в решении учетных задач, который трансформирует функционирование современной бухгалтерии. Аргументировано, что благодаря использованию искусственного интеллекта повышается точность и достоверность учетных данных, обеспечивается высокий уровень их безопасности, эффективно используются в бухгалтерском учете различные форматы данных, расширяются аналитические возможности сотрудников бухгалтерии.

Ключевые слова: бухгалтерский учет, первичные учетные документы, цифровое пространство, искусственный интеллект, интеллектуальные сервисы.

Rysina V.A.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ORGANIZATION OF ACCOUNTING

Abstract. The article examines the main directions of using AI technologies in the organization and management of accounting and related changes in the context of this. The organization of primary accounting in the conditions of artificial intelligence application is characterized. A diagram of the functioning of machine intelligence on the PUD system has been compiled. It has been revealed that AI services in accounting save the labor and financial resources of an organization. The characteristics of Russian accounting intellectual services are given. The main development prospects of accounting in the digital space are listed. It has been established that artificial intelligence technologies in the accounting sphere are an effective tool in solving accounting problems, which transforms the functioning of modern accounting. It is argued that due to the use of artificial intelligence, the accuracy and reliability of accounting data is increased, a high level of security is ensured, various data formats are effectively used in accounting, and the analytical capabilities of accounting employees are expanded.

Keywords: accounting, primary accounting documents, digital space, artificial intelligence, intelligent services.

Введение. В эпоху цифровизации экономики наблюдается повсеместное использование искусственного интеллекта (ИИ) в управленческой деятельности российских предприятий и организаций. Современные цифровые технологии такие как, машинное обучение, нейросети, различные учетные роботы, технологии Big Data (больших данных), облачные вычисления, внесли новые функциональные возможности в организацию и ведение бухгалтерского учета, что приводит к изменению традиционных технологий и отношению к профессии бухгалтера [1]. Благодаря данным технологиям современные бухгалтеры освобождаются от рутинных трудоемких учетных операций и процессов, вследствие чего из исполнителей превращаются в создателей систем учета, осуществляя самостоятельную постановку различных учетных задач и обучая роботизированных помощников. В настоящий момент наблюдается симбиоз ИИ и традиционной практики ведения бухгалтерского учета, приводящий к появлению «цифрового» учета. В связи с вышеуказанным изучение основных возможностей

использования технологий ИИ в бухгалтерском учете является актуальным.

Цель исследования заключается в рассмотрении основных направлений использования технологий ИИ в организации и ведении бухгалтерского учета и связанных в контексте с этим изменений.

Материалы и методы исследования. В настоящий момент представленная для исследования тема достаточно популярна как в зарубежных, так и в российских научных кругах. Проблемы практического применения искусственного интеллекта в отраслях экономики, а также применительно к бухгалтерскому учету и аудиту нашли отражение в ряде публикаций [2–8]. Вместе с тем, учитывая огромную практическую значимость ИИ при цифровизации и трансформации методологии бухгалтерского учета, необходимы дальнейшие исследования в обозначенной научной области.

В статье были использованы следующие методы исследования: наблюдения, систематизации и обобщения (характеристика основных тенденций применения технологий ИИ в учете), сравнения (выявление преимуществ и недостатков использования ИИ в учете), статистического анализа (анализ рынка ИИ в бухгалтерском учете), графический метод представления данных и др.

Результаты исследования и их обсуждение. В 2024 г. аналитическим центром TAdviser совместно с ООО «Контент ИИ» было проведено исследование уровня цифровизации и автоматизации российских компаний с применением инструментов ИИ [9]. Оценивание осуществлялось за период февраль-апрель 2024 г. путем опроса 92 компаний, относящихся к 20 отраслям экономики РФ. Как показало проведенное исследование, предприятия-респонденты, в основном, используют технологии ИИ в сфере бухгалтерского учета, финансов, ИТ, управления персоналом и обслуживания клиентов (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурные подразделения респондентов, в которых используются инструменты ИИ [9]

Основная область применения ИИ в структурных подразделениях респондентов – система электронного документооборота (ЭДО). В качестве основных технологий ИИ применяются автоматическая генерация документов и форм отчетности, технологии RPA и интеллектуальная обработка документов (рис. 2).

Также в ходе проведенного исследования установлено, что в будущем компании-респонденты планируют продолжать использовать технологии ИИ и машинного обучения. Это позволит им повысить эффективность операционных процессов и снизить расходы на их осуществление и ведение документооборота.



Рисунок 2 – Основные технологии ИИ, используемые респондентами для ЭДО [9]

Проведенное исследование компанией Mordor Intelligence показало, что размер международного рынка ИИ в бухгалтерском учете в 2024 г. оценивается в 1,6 млрд дол. США, к 2029 г. его объем по прогнозам возрастёт до 6,6 млрд дол. США, при этом темп роста в среднегодовой перспективе – 33,5% [10]. Это объясняется, прежде всего, расширенными функциональными возможностями ИИ при решении учетных задач. Исследование-опрос, проведенное международной бухгалтерской фирмой KPMG, установило, что на сегодняшний день более половины из опрошенных респондентов внедрили технологии искусственного интеллекта в сфере налогообложения, учета и финансов. В дальнейшем (2024-2025 гг.) для развития технологий ИИ около 40% респондентов инвестируют порядка 10 млн. дол. США [10].

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что в ближайшей перспективе с целью снижения расходов на организацию учета и увеличения производительности труда бухгалтеров одним из основных направлений совершенствования бухгалтерского учета будет его дальнейшая автоматизация с использованием инструментов искусственного интеллекта (рис. 3).



Рисунок 3 – Основные направления применения ИИ в бухгалтерском учете [1, 4–6]

Рассмотрим вышеуказанные направления более подробно для того, чтобы выявить их основные тренды и условия развития:

1) Применение технологий ИИ в первичном учете.

На сегодняшний день даже в условиях полной автоматизации наиболее трудоемкими учетными работами, выполняемыми бухгалтерами вручную, являются операции по составлению первичных учетных документов (ПУД) (рис. 4). Это объясняется тем, что ежедневно бухгалтер должен переносит в автоматизированную систему учета реквизиты из бумажных документов, при этом одновременно необходимо проверить данные и их пересчитать. На данные операции уходит значительная часть рабочего времени учетных работников. Поэтому руководство компаний заинтересовано в том, чтобы эти работы были переданы на выполнение интеллектуальным сервисам.



Рисунок 4 – Схема функционирования искусственного интеллекта в системе ПУД [11]

ПУД, которые получены через сервисы обмена ЭДО или в бумажном виде, как правило, могут быть представлены в формализованном и неформализованном формате. При занесении в автоматизированную систему бухгалтерского учета формализованных ПУД различных форматов данные из них извлекается автоматически. Обработка неформализованных ПУД может быть передана искусственному интеллекту, который, в свою очередь, может выполнять следующие работы: распознавать сканы полученных документов, разделять их по видам, извлекать текстовую информацию из ПУД и на основании полученных данных формировать электронную карточку документа. Если необходимо оцифровать большой объем документов, ИИ использует потоковое сканирование. Обработка файлов документов сервисами ИИ осуществляется с помощью технологии компьютерного зрения, т.е. если система находит недочёты или ошибки, она выделяет их другим цветом. При этом бухгалтер может выявленные искусственным интеллектом ошибки исправить в режиме реального времени.

Кроме передачи ПУД в учетную систему, сервисы ИИ могут осуществлять следующие операции:

- сравнение информации о товарах, указанных в полученных от контрагентов документах, со справочником номенклатур по разным критериям: наименованию, цене и др.;
- арифметическая проверка (например, пересчет НДС);
- сравнение цены и количества по документам и данными учетной системы (например, перекрестная проверка счета-фактуры поставщика и приходной накладной покупателя – поля с разными ценами или количеством на экране пользователя выделяются другим цветом).

После обработки ПУД машинный интеллект самостоятельно согласно прописанным алгоритмам определит вид хозяйственных операций, сформирует корреспонденцию счетов и проведёт документы в учетной системе.

Примером использования сервисов ИИ в первичном учете являются сервисы компании Directum и её решение «Цифровая бухгалтерия», которые уже применяются различными российскими компаниями (АО «L’Oreal», сеть магазинов «Подружка», ПАО «Газпром», ПАО «Роснефть», «Алроса» и др.) (рис. 5).



Рисунок 5 – Схема обработки ПУД помощью искусственного интеллекта в цифровой бухгалтерии Directum RX [11]

Таким образом, применение сервисов искусственного интеллекта в первичном учете позволяет, прежде всего, сократить время на формирование, обработку и проверку документа с 10 минут до 1-2 минут. Если объем первичной документации в компании значительный, это существенно экономит её трудовые и финансовые ресурсы.

2) Подбор различных учетных данных для контролирующих органов.

По требованиям ФСБУ 27/2021 и ФЗ № 402 первичные документы, учетные регистры и формы финансовой (бухгалтерской) отчетности должны храниться соответствующим образом: бумажные – в архиве организации, электронные – в цифровом хранилище. Для удобства хранения, поиска и подготовки к различным проверкам (аудиторским, налоговым) рекомендуется организовать единый цифровой архив отсканированных бумажных и электронных документов (см. рис. 5). Если предприятие участвует в налоговом мониторинге, оно обязано иметь подобный архив документов. В данном процессе можно задействовать технологии ИИ, которые позволят организовать единый финансовый архив и контролировать его полноту и целостность. Благодаря генеративному ИИ и машинному обучению формируются различные ответы на запросы сотрудника ФНС или аудитора в виде архива-zip (рис. 6). В случае дополнительных запросов искусственный интеллект может осуществлять поиск документов по различным критериям: типу, дате и т. п.).

Таким образом, организация единого цифрового архива позволит сократить время на поиск и подготовку для ответа необходимой информации в несколько раз. Также технологии ИИ могут повысить качество аудиторских проверок и снизить время на их проведение.

3) Организация внутреннего контроля и сервисы ИИ.

Искусственный интеллект можно использовать не только для формирования документов первичного учета, но и для их внутреннего контроля. С помощью соответствующих сервисов ИИ бухгалтер может проверить определенные документы в случае возникновения спорных моментов. Это, прежде всего, касается таких документов как договоры, спецификации, различные протоколы и т. п. (рис. 7).

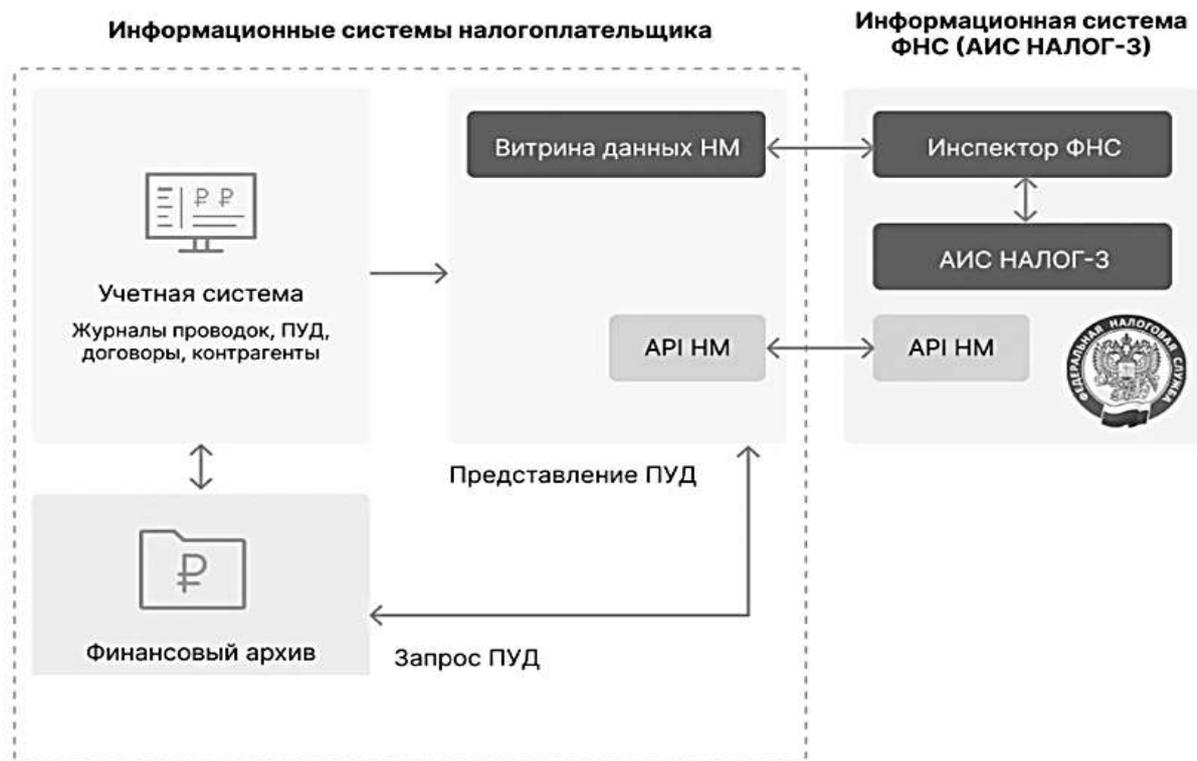


Рисунок 6 – Схема взаимодействия АИС ФНС и ИС налогоплательщика с использованием технологий ИИ [11]

Начиная с 01.04.2025 г. вступает в действие ФСБУ 28/2023, поэтому все предприятия и организации будут проводить инвентаризацию активов и обязательств в обязательном порядке. Данный процесс можно упростить благодаря применению технологий ИИ: сервисы проверяют сформированные инвентаризационные описи, выявят недостатки или излишки и перешлют документы согласно регламенту на согласование, затем документы попадут в цифровой архив на хранение. Дальнейшее использование документов для проверок возможно только после установления прав на просмотр или изменение в документах с учетом организационной и отраслевой специфики предприятия.



Рисунок 7 – Интеллектуальная проверка договора [11]

4) Автоматическое управление бухгалтерскими записями и журналами. Роботизация учетных процессов (RPA) позволяет разрабатывать программы-боты,

которые могут применяться, например, при управлении расходами предприятия в автоматическом режиме. Используя собранные с помощью ИИ данные, функциональные возможности RPA-бота позволяют осуществлять сопоставление расходных ПУД с отчетами о расходах путем входа в соответствующие учетные данные, а также формировать банковские выписки и акты сверки с контрагентами [1]. Подобные роботы уже используются в программных продуктах фирмы 1С.

5) Формирование отчетов и анализ финансовых показателей в реальном режиме времени.

Применение технологий ИИ позволяет формировать различные отчеты как для бухгалтерского, так и для управленческого учета, а также осуществлять их анализ. Для этих целей используются инструменты AI-технологий и алгоритмы машинного обучения, позволяющие выявлять различные тенденции и закономерности, незамеченные бухгалтером. Также со временем система искусственного интеллекта совершенствуется путем обучения. Так, например, инструмент ИИ Truewind позволяет полностью не только автоматизировать бухгалтерский учет, но и формировать отчеты, а также осуществлять анализ финансовых данных в реальном режиме времени [10]. Сервис Docyt формирует данные о доходах и расходах компании, а также управляет прибылью и финансами [10]. Фирма Deloitte, занимающаяся оказанием финансовых услуг, с помощью искусственного интеллекта внедрив метод оптического извлечения учетных данных из тысячи документов по коммерческим кредитам, смогла сэкономить около 4 тысяч часов при проведении анализа информации по слиянию и поглощению компаний [10].

Кроме того искусственный интеллект может применяться в управленческом учете, бюджетировании и прогнозировании. Так, изучая рыночные тенденции и закономерности, бухгалтерские данные и финансовые показатели с помощью технологий ИИ, учетные работники могут обрабатывать большие массивы данных для составления различных бюджетов и финансовых прогнозов. Также инструменты ИИ могут в ходе анализа обнаружить финансовые ошибки или угрозу мошенничества, сканируя различные учетные документы на предмет несоответствия заданным закономерностям. Это позволяет отслеживать подозрительные транзакции, выявить определенные проблемы, повысить уровень финансовой безопасности [10]. Кроме того системы машинного обучения могут выполнять дополнительные функции: неограниченный экспорт/импорт учетной информации между бухгалтерскими программами и сервисами, настройка доступа различных пользователей, использование программных интерфейсов для формирования единой системы из нескольких программ.

Еще одним перспективным направлением использования технологий искусственного интеллекта в бухгалтерском учете на сегодняшний день считаются нейросети – технологии, создающие новые данные, которые были получены в ходе обучения на основе различных примеров и профессиональных навыков. Применительно к бухгалтерскому учету нейросети могут быть использованы для автоматизации создания и обработки документов, формирования отчетов и их анализа. При обучении нейросетей используются большие массивы учетных данных. Например, нейросеть NeuroScribe, разработанная российскими программистами, позволяет автоматизировать такие бухгалтерские работы, как расчет налогов и их оптимизация, автоматическая классификация расходов предприятия, составление финансовых отчетов, подготовка пакетов документов для аудиторских проверок [12]. Функциональные возможности нейросетей трансформируют деятельность бухгалтеров, делая её достаточно нетрудоёмкой, инновационной и продуктивной.

На российском рынке в настоящий момент представлено 7 интеллектуальных сервисов, используемых для организации документооборота и ведения бухгалтерского учета. Характеристика их функциональных возможностей и целевой аудитории представлена на рисунке 8 [11].

Во всех представленных сервисах механизм функционирования одинаков: обработка отсканированных документов, полученных через ЭДО или по электронной почте, затем их

распознавание, сопоставление представленных в них данных и формирование электронных первичных документов. За исключением Gendalf «Скан-загрузка документов» все сервисы работают в облаке. Кроме того, интеллектуальные сервисы могут быть интегрированы с учетными системами такими, как 1С, Галактика и Моё дело. Каждый сервис предлагает к использованию демо-версию, что достаточно удобно при принятии решения об использовании искусственного интеллекта в бухгалтерском учете организации.

	Функциональные возможности	Для кого/целевая аудитория
 Directum Ario	Набор интеллектуальных сервисов и решений для обработки любой текстовой информации	Средний и крупный бизнес, промышленные предприятия, государственные органы, госучреждения
 Робот-бухгалтер LEXEMA-SR	Сервис по сканированию, распознаванию и вводу в учетную систему первичных документов	Малый и средний бизнес, ОЦО
 Entera	Облачный онлайн-сервис на базе искусственного интеллекта	Малый и средний бизнес, аутсорсинговые компании
 Efsol	Система потокового ввода документов на базе программного обеспечения ABBYY FlexiCapture	Организации с объемом входящих однотипных документов от 5000 страниц в месяц
 Gendalf «Скан-загрузка документов»	Программа для автоматизации загрузки данных из печатных документов в базу 1С	Компании с объемом входящих документов более 200 в месяц, которые работают с программой «1С: Бухгалтерия 8»
 365docs	Сервис для автоматической загрузки первичной документации в 1С	Малый и средний бизнес
 Xlogic от nlogic	Сервис автоматизации ввода первичной документации	Малый, средний и крупный бизнес, госкомпании

Рисунок 8 – Характеристика российских бухгалтерских интеллектуальных сервисов [11]

Учитывая все вышеперечисленные преимущества влияния искусственного интеллекта на бухгалтерский учет, в ближайшем будущем можно выделить следующие основные перспективы развития учета в цифровом пространстве:

1) усиление аналитических возможностей и персонализация данных (встроенный в учетные системы ИИ позволит проводить детальный анализ бизнес-процессов и оценку деятельности организации с целью принятия обоснованных управленческих решений. Кроме того, искусственный интеллект научится адаптироваться под персональные запросы бухгалтера при формировании аналитической выборки);

2) эффективное использование неучётной информации (искусственный интеллект позволит использовать различные форматы (текст, видео, голосовые данные) при решении бухгалтерских задач);

3) расширение возможностей бухгалтерских процессов и интеграция с государственными цифровыми сервисами;

4) усиление кибербезопасности (технологии машинного интеллекта позволят обнаруживать и предотвращать угрозы путем анализа информации на предмет

возникновения внутренних и внешних киберугроз);

5) адаптация к изменяющемуся налоговому и бухгалтерскому законодательству (искусственный интеллект будет оперативно перенастраивать учетную систему предприятия в случае изменений в стандартах учета или системе налогообложения).

Выводы. Таким образом, технологии искусственного интеллекта в сфере бухгалтерского учета – это действенный инструмент в решении учетных задач, который трансформирует функционирование современной бухгалтерии, поскольку многие рутинные операции теперь выполняются «виртуальным» помощником. Благодаря использованию искусственного интеллекта повышается точность и достоверность учетных данных, обеспечивается высокий уровень их безопасности, эффективно используются в бухгалтерском учете различные форматы данных, расширяются аналитические возможности сотрудников бухгалтерии. В перспективе искусственный интеллект существенно изменит учетный процесс, используя при обучении профессиональные навыки бухгалтеров. Для этого бухгалтерам необходимо постоянно совершенствовать свои знания в сфере ИИ. Искусственный интеллект способствует появлению инновационных методов бухгалтерского учета.

Список использованной литературы:

1. Рысина В.А. Применение цифровых технологий в бухгалтерском учете // Вестник КГМТУ. 2023. № 1. С. 207–216.
2. Скоробогатова В.В., Логунова Н.А. К вопросу о применении искусственного интеллекта в рыбохозяйственном комплексе // Вестник КГМТУ. 2023. № 4. С. 337–345.
3. Рысина В.А., Скоробогатова В.В. Цифровой бухгалтерский учет: понятие и его эволюция // Вестник КГМТУ. 2023. № 4. С. 312–319.
4. Медюха Е.В., Ковалева Е.А. Использование искусственного интеллекта в бухгалтерском учете и аудите: новые возможности // Наука и мир. 2023. № 4. С. 96–100.
5. Ахмедов Г.И. Применение искусственного интеллекта в бухгалтерском учете // Управленческий учет. 2023. № 12. С. 303–309.
6. Удалов А.А., Удалова З.В., Зубарева О.А. Интеллектуальный учет как будущее направление бухгалтерского учета // Учёт и статистика. 2022. № 1 (65). С. 20–29.
7. Варламова Д.В., Алексеева Л.Д. Вопросы внедрения цифровых технологий в систему бухгалтерского учета // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 5-2. С. 248–254.
8. Узденова Ф.М., Алиева А.Б., Малсюгенова З.В. Современные информационные технологии в бухгалтерском учете и управлении // Вестник Академии знаний. 2022. № 49. С. 298–303.
9. Автоматизация процессов обработки документов в российских компаниях. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:80_организаций_активно_внедряют_новые_технологии_автоматизации_обработки_документов_для_трансформации_бизнес-процессов?erid=LjN8KVrdW (дата обращения: 25.07.2024).
10. The ultimate guide to AI in accounting. URL: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/the-ultimate-guide-to-ai-in-accounting> (дата обращения: 25.07.2024).
11. 7 сервисов для бухгалтерии: обработка первичных документов с помощью искусственного интеллекта. URL: <https://ecm-journal.ru/future-accounting/accounting-services> (дата обращения: 25.07.2024).
12. Нейросеть для бухгалтера: 15 способов применения. URL: <https://neuroscribe.ru/blog/184/nejroset-dlya-buhgaltera-15-sposobov-primeneniya> (дата обращения: 25.07.2024).

References:

1. Rysina V.A. Primenenie cifrovyyh tekhnologij v buhgalterskom uchete [Application of digital technologies in accounting]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KSMTU], 2023, no. 1, pp. 207–216. (In Russian).

2. Skorobogatova V.V., Logunova N.A. К вопросу о применении искусственного интеллекта в рыбохозяйственном комплексе [On the question of the application of artificial intelligence in the fishery complex]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KSMTU], 2023, no. 4, pp. 337–345. (In Russian).
3. Rysina V.A., Skorobogatova V.V. Цифровой бухгалтерский учет: понятие и его эволюция [Digital accounting: the concept and its evolution]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KSMTU], 2023, no. 4, pp. 312–319. (In Russian).
4. Medyukha E.V., Kovaleva E.A. Использование искусственного интеллекта в бухгалтерском учете и аудите: новые возможности [The use of artificial intelligence in accounting and auditing: new opportunities]. *Nauka i mir* [Science and peace], 2023, no. 4, pp. 96–100. (In Russian).
5. Akhmedov G.I. Применение искусственного интеллекта в бухгалтерском учете [The use of artificial intelligence in accounting]. *Upravlencheskij uchet* [Managerial accounting], 2023, no. 12, pp. 303–309. (In Russian).
6. Udalov A.A., Udalova Z.V., Zubareva O.A. Интеллектуальный учет как будущее направление бухгалтерского учета [Intellectual accounting as the future direction of accounting]. *Uchyot i statistika* [Accounting and statistics], 2022, no. 1 (65), pp. 20–29. (In Russian).
7. Varlamova D.V., Alekseeva L.D. Вопросы внедрения цифровых технологий в систему бухгалтерского учета [Issues of introduction of digital technologies into the accounting system]. *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law], 2020, no. 5-2, pp. 248–254. (In Russian).
8. Uzdenova F.M., Alieva A.B., Malsugenova Z.V. Современные информационные технологии в бухгалтерском учете и управлении [Modern information technologies in accounting and management]. *Vestnik Akademii znaniy* [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2022, no. 49, pp. 298–303. (In Russian).
9. *Avtomatizatsiya processov obrabotki dokumentov v rossijskix kompaniyax* [Automation of document processing processes in Russian companies]. (In Russian). Available at: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:80_организаций_активно_внедряют_новые_технологии_автоматизации_обработки_документов_для_трансформации_бизнес-процессов?erid=LjN8KVrdW (accessed 25.07.2024).
10. The ultimate guide to AI in accounting. (In English). Available at: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/the-ultimate-guide-to-ai-in-accounting> (accessed 25.07.2024).
11. *7 servisov dlya buxgalterii: obrabotka pervichnyx dokumentov s pomoshh'yu iskusstvennogo intellekta* [7 accounting services: processing of primary documents with the help of artificial intelligence]. (In Russian). Available at: <https://ecm-journal.ru/future-accounting/accounting-services> (accessed 25.07.2024).
12. *Nejroset` dlya buxgaltera: 15 sposobov primeneniya* [Neuronet for an accountant: 15 ways of application]. (In Russian). Available at: <https://neuroscribe.ru/blog/184/nejroset-dlya-buxgaltera-15-sposobov-primeneniya> (accessed 25.07.2024).

Сведения об авторе / Information about author

Рысина Виктория Александровна	канд. экон. наук, доцент кафедры экономики и гуманитарных дисциплин Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 vika_daria@mail.ru
Rysina Victoria Alexandrovna	Ph.D. (Econ.), Associate Professor at the Department of economics and humanities Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Ordzhonikidze str., 82 vika_daria@mail.ru

УДК 641:613.2(615.322)

Крюк Р.В., Курбанова М.Г., Колбина А.Ю., Головешкин Е.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО ПИТАНИЯ

Аннотация. Главным трендом современного мира является здоровый образ жизни, а также долголетие по средствам правильного питания, но большинство людей не задумываются о том, что, потребляя нужные нормы килокалорий организм из них не получает достаточное количество витаминов и тем самым лишается функциональных свойств, в которых нуждается на ежедневной основе. Целью исследования стал поиск различных статей, тезисов, патентов, книг в которых приведены и описаны функциональные свойства таких продуктов, как апельсин, черника и зеленый чай. В ходе поиска исследованы вышеуказанные продукты, помимо того, что в их содержится большое количество микро- и макроэлементов, они имеют различные функциональные свойства; так, апельсин имеет антиоксидантные, антимикробные свойства, кроме этого, он благоприятно влияет на сердечно-сосудистую систему и способствует нормальной работе печени, оказывает гипогликемическое и гиполипидемическое действие.

Ключевые слова: функциональные продукты, здоровый образ жизни, функциональные свойства ягод и фруктов, функциональные свойства зеленого чая.

Kryuk R.V., Kurbanova M.G., Kolbina A.U., Goloveshkin E.A.

THE USE OF ALTERNATIVE SOURCES OF FUNCTIONAL SUBSTANCES IN THE STRUCTURE OF MODERN NUTRITION

Abstract. The main trend in the modern world is a healthy lifestyle, as well as longevity by means of proper nutrition, but most people do not think about the fact that by consuming the necessary kilocalories, the body does not receive enough vitamins from them and thereby loses the functional properties it needs on a daily basis. The purpose of the study was to search for various articles, abstracts, patents, books that present and describe the functional properties of products such as orange, blueberry and green tea. During the search, the above products were investigated, in addition to the fact that they contain a large number of micro- and macronutrients, they have various functional properties; so orange has antioxidant, antimicrobial properties, in addition, it has a beneficial effect on the cardiovascular system and contributes to the normal functioning of the liver, has a hypoglycemic and hypolipidemic effect.

Keywords: functional foods, healthy lifestyle, functional properties of berries and fruits, functional properties of green tea.

Введение. Продукты питания подразделяются в зависимости от происхождения из растительного или животного сырья. В свою очередь, продукты питания содержат не только белки, жиры и углеводы, которые поддерживают нашу жизнедеятельность, но и различные витамины, макро- и микроэлементы, которые также способствуют здоровому развитию любых организмов.

Помимо своей энергетической ценности, существуют продукты функционального назначения. Это продукты, которые имеют вспомогательные свойства, кроме своей пищевой ценности, еще и свойства добавляемых продуктов. С другой стороны, к функциональным продуктам относятся узконаправленные, специализированные сельскохозяйственные культуры, обогащенные различными полезными свойствами (рис. 1) [1, 2].

История данных функциональных продуктов идет с начала XX века, когда люди начали задумываться о правильном питании и профилактике некоторых заболеваний, а также укреплении своего здоровья. В это же время большинство исследователей пытались выделить элементы, помогающие справиться с некоторыми заболеваниями, одни из которых

являются витамины. На взгляд ученых, проблематика недостатка питания должна была устраниться за счет использования только одних витаминов. Но уже с 1970 года появилась новая проблема – это чрезмерное питание, иначе – ожирение. В дальнейшем, на первое место разрешения данной проблемы стало изменение рациона питания: уменьшение количества употребления насыщенных жиров и преобладание продуктов растительного сырья, таких как фрукты, овощи, бобовые, цельно зерновых, для понижения риска развития хронических заболеваний [3].



Рисунок 1 – Функциональные продукты и их источники

Данное изменение рациона питания было не только решением проблемы с лишним весом, но и большинства заболеваний: сердечно-сосудистых, дефицита веса, рак, инсульт и т. д. Исследователи начали искать различные компоненты в составе пищевых продуктов растительного и животного происхождения. Развитие технологий, образа жизни, увеличение числа населения, а также старшего возраста, отразились в концепции развития рациона питания к 90-ым годам прошлого столетия. К этому времени начали появляться функциональные продукты [3, 4].

Почти любой продукт является функциональным, имея различную пользу, кроме своей энергетической ценности. Для данных продуктов Фондом инноваций в медицине в 1991 году был введен термин «нутрицевтик», характеризующий любой продукт, приносящий пользу организму [5].

С каждым годом, население Земли все больше стремится к здоровому образу жизни и потребности в правильном питании. Российский рынок здорового питания благополучно увеличивается в объемах из-за тенденции к долголетию и благоприятного функционирования тела человека в целом. Если затрагивать функциональные продукты на российском рынке, то они составляют 31 % от общей массы рынка здорового питания (рис. 2) [6].

На данный момент, большинство заболеваний развивается из-за неправильного питания и рациона населения, что ведет за собой высокую смертность. Это обусловлено тем, что в пище, которую употребляет среднестатистический человек на сегодняшний день, богата холестерином, рафинированным сахаром и низким содержанием ненасыщенных жиров, а также продуктами растительного сырья. Исходя из этого, наиболее изучаемыми функциональными продуктами животного происхождения являются Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики, синбиотики и линолевая кислота. Функциональными продуктами растительного происхождения являются клюква, чеснок, чай, ликопин (полученный из томатов), лютеин и зеаксантин (полученные из листьев овощей) и другие [7, 8].

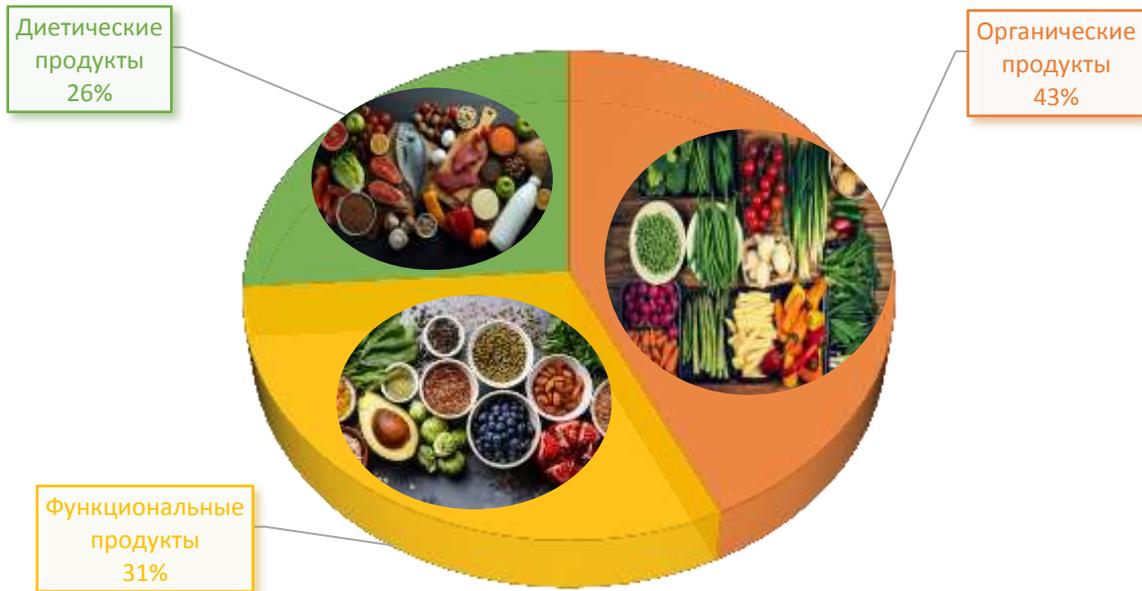


Рисунок 2 – Структура российского рынка здорового питания в 2020 г. (в стоимостном выражении)

Целью исследования является сбор информации о функциональных свойствах апельсина, черники, зеленого чай для использования в составлении сбалансированного рациона питания человека.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования является общедоступная научная информация, поиск которой осуществлялся в базах данных PubMed от National Center for Biotechnology Information (США), Elsevier (Scopus, ScienceDirect), на платформе Web of Science и отечественной электронной библиотеке eLibrary.ru. Глубина поиска составляла 10 лет, язык поиска – английский и русский.

Результаты исследования и их обсуждение. Из вышеперечисленных видов функциональных продуктов следует акцентировать внимание не только на содержание витаминов и макро- микроэлементов, но и на продуктовых свойствах для снижения веса. Одним из таких продуктов является апельсин. Апельсин – это идеальное сочетание витаминов и минералов, не только укрепляющих иммунитет, но и являющихся средством для похудения. Из-за высокого содержания клетчатки, он благополучно влияет на работу желудочно-кишечного тракта, что хорошо сказывается на работе организма и его функционировании. Содержание витаминов и минералов на 100 г продукта представлены в таблице 1 [9, 10].

Функциональная особенность данного продукта состоит в его антиоксидантной активности. Апельсин содержит в себе антоцианы, которые подавляют рост сердечно-сосудистых заболеваний и катаракты. Он является одним из ярких представителей продуктов именно в антиоксидантных функциях. Следует отметить, что полезность данного фрукта состоит не только в мякоти, но и в составе кожуры [10].

При этом, апельсин проявляет антимикробные действия. Это подтверждается самой природой данного плода: апельсиновый сок стимулирует жизнедеятельность макрофагов, которые в свою очередь подавляют рост и размножение болезнетворных микроорганизмов [10].

Апельсин уникален не только в своих антимикробных свойствах, но и полезен для людей, страдающих сахарным диабетом. Он регенерирует кожу, а также при использовании спиртового экстракта корок апельсина можно предупредить развитие нефропатий [10].

Таблица 1 – Витамины и минералы в составе апельсина

Наименование витаминов и минералов	Содержание на 100 г продукта
Витамин С	53,2 мг
Витамин В ₄	8,4 мг
Витамин В ₃	0,282 мг
Витамин В ₅	0,25 мг
Витамин Е	0,18 мг
Витамин В ₁	0,087 мг
Витамин В ₆	0,06 мг
Витамин В ₂	0,04 мг
Витамин В ₉	30 мкг
Витамин А	11 мкг
Калий	181 мг
Кальций	40 мг
Фосфор	14 мг
Магний	10 мг
Железо	0,1 мг
Медь	0,045 мг
Марганец	0,25 мг

Еще одним из полезных эффектов апельсина является в его составе флавоноидов, которые дают антиоксидантное, гипохолемическое и гиполлипидемическое действие. А также, если апельсиновый сок обогащен витаминными компонентами, он способен понижать артериальное давление [10].

В народной медицине апельсин также пользуется спросом и используется против желчи, горячего кашля, рвоты, тошноты. В некоторых странах Европы листья апельсина используют в качестве седативного средства, а в некоторых странах воду из-под апельсина используют как кровоостанавливающее и потогонное средство [4].

В научной сфере было доказано, что апельсин способствует благотворной работе печени, используется при лечении астмы, а также проявляет бактерицидные свойства, благодаря своим компонентам и их составляющим, в отношении бактерий *Helicobacter pylori*, *Klebsiella pneumonia*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella flexneri* и др [10].

Еще одним из функциональных продуктов является черника. Это один из представителей низкорослых кустарников. В составе плодов черники содержится около 18 % дубильных веществ, 7 % органических кислот, из которых присутствует яблочная, бензойная, щавелевая, хинная, янтарная, молочная. Применение ягод черники внутрь уменьшает количество сахарозы в крови, тонизируют кислотность желудочного сока для улучшения работы кишечника, стабилизирует обмен веществ в организме, а также улучшают работу зрительного аппарата. Содержание витаминов и минералов в плодах черники представлены в таблице 2 [11, 12].

Так же, как и апельсин, плоды черники обладают антиоксидантной активностью, которая предотвращает рост недоброкачественных опухолей. Исходя из этого, плоды черники являются хорошим средством против раковых опухолей. Она является лидером по содержанию антиоксидантных средств среди редиса, ежевики, яблок, красной капусты и винограда. Также антиоксидантная активность способствует регулированию уровня глюкозы в плазме крови, что предотвращает развитие болезней сердечно-сосудистых заболеваний и диабета [11].

Интересным фактом является то, что плоды черники улучшают остроту зрения. Еще во времена Второй мировой войны летчики перед полетом съедали горсть черники, тем самым улучшая функциональность зрения в сумерках и ночи. Сегодня же черника входит в ежедневный рацион космонавтов [11].

Таблица 2 – Витамины и минералы в составе черники

Наименование витаминов и минералов	Содержание на 100 г продукта
Витамин С	14 мг
Витамин Е	0,57 мг
Витамин В ₃	0,3 мг
Витамин А	0,29 мг
Витамин В ₂	0,06 мг
Витамин В ₁	0,03 мг
Калий	81 мг
Кальций	16 мг
Фосфор	13 мг
Магний	6 мг
Железо	0,8 мг
Натрий	1 мг

Чернику используют и для лечения катаракта желудка и кишечника. В народной медицине черника используется в качестве лечебного действия против камней в почках.

Но имеются противопоказания при употреблении данной ягоды. Не рекомендуется употреблять чернику лицам, страдающим заболеваниями двенадцатиперстной кишки, поджелудочной железы и при оксалатурии.

Основным витамином, входящим в состав апельсина и черники, является витамин С (аскорбиновая кислота) – это водорастворимое витаминное соединение, которое играет важную роль в различных биологических процессах.

Аскорбат является основной формой витамина С в организме человека. Эта молекула действует как ко-субстрат для нескольких ферментов, важных для функционирования организма. Его активность как антиоксиданта включает способность обратимо окисляться до аскорбилового радикала, а затем до дегидроаскорбата [12].

Обе формы попадают в организм с пищей, поскольку аскорбат может окисляться в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) в присутствии других веществ, действующих как окислители (например, Fe^{3+}) и некоторых флавоноидов). Аскорбат также может окисляться в результате обработки пищевых продуктов, либо в результате приготовления пищи, либо в результате неправильного хранения упакованных продуктов [12].

Биодоступность или эффективная концентрация витамина С существенно зависит от его эффективной абсорбции из кишечника и почечной экскреции. Витамин С, потребляемый либо с пищей, либо с пищевыми добавками, поглощается эпителиальными клетками тонкой кишки с помощью натриевого транспортера или впоследствии диффундирует в окружающие капилляры, а затем в систему кровообращения. Циркулирующая АК фильтруется из капилляров почек в капсулу Боумена посредством общего механизма фильтрации. Аскорбиновая кислота (АК) реабсорбируется через натриевый транспортер в проксимальных извитых канальцах. Разница между количеством отфильтрованной и реабсорбированной АК представляет собой почечную экскрецию. Кишечная абсорбция и почечная экскреция вместе контролируют уровень витамина С в сыворотке и, следовательно, его биодоступность. При низких концентрациях большая часть витамина С всасывается в тонком кишечнике и реабсорбируется из почечных канальцев. Однако при высоких концентрациях натриевого транспортера снижается, что ограничивает количество АК, всасываемой из кишечника и почек. Это накладывает физиологическое ограничение на максимальную эффективную концентрацию витамина С в сыворотке (или его биодоступность), достижимую при пероральном приеме. Установлено, что это значение составляет 200 ммоль/л, хотя «нормальные» физиологические концентрации аскорбата в сыворотке крови у здоровых людей колеблются от 60 до 100 ммоль/л. Уровни витамина С в циркулирующих клетках крови, таких как тромбоциты, намного выше, чем в плазме [12].

Биохимические функции АК во многом зависят от окислительно-восстановительных

свойств L-АК, которая является кофактором гидроксилирования и активности ферментов монооксигеназы в синтезе коллагена, карнитина и нейротрансмиттеров. АК ускоряет реакции гидроксилирования, поддерживая активный центр ионов металлов в восстановленном состоянии для оптимальной активности ферментов гидроксилазы и оксигеназы. Таким образом, он имеет решающее значение для поддержания коллагена, который составляет около одной трети общего белка в организме. В экспериментальном исследовании было показано, что АК участвует в синтезе и высвобождении коллагена типа IV в культуральную среду. Коллаген является основным белком кожи, костей, зубов, хрящей, сухожилий, кровеносных сосудов, сердечных клапанов, межпозвоночных дисков, роговицы, хрусталика глаза. АК необходима для поддержания ферментов пролина и лизилгидроксилазы в активной форме. Дефицит АК приводит к снижению гидроксилирования пролина и лизина, что влияет на синтез коллагена. АК также является важным кофактором гидроксилирования, участвующего в синтезе мышечного карнитина «β-гидроксимасляной кислоты». Карнитин необходим для транспортировки и переноса длинноцепочечных жирных кислот в митохондрии для производства энергии. Кроме того, АК также является кофактором фермента дофамин-β-гидроксилазы, который катализирует превращение нейромедиатора дофамина в норадреналин и, следовательно, необходим для синтеза катехоламинов [12].

Основным макроэлементом, входящим в состав апельсина и черники, является калий, который играет важную роль во многих функциях организма [13].

Примерно 60 % массы тела взрослого человека составляет вода, две трети которой находится внутриклеточно, а одна треть – внеклеточно. Основным катионом внутриклеточной жидкости является калий, тогда как основным катионом внеклеточной жидкости является натрий. Общее количество калия в организме составляет около 50–55 ммоль/кг, из них около 98 % содержится во внутриклеточной (скелетные мышцы, эритроциты, печень и др.) и 1–2 % во внеклеточной жидкости. Этот градиент концентрации (внутриклеточная концентрация: 150 ммоль/л, внеклеточная концентрация: 3,5–5,0 ммоль/л) регулирует возбуждающую проводимость в нервных и мышечных клетках, а также поддержание осмотического давления в жидкостях организма и кислотно-щелочного баланса [13].

Большая часть поступающего с пищей калия всасывается в тонком кишечнике, при этом около 10 % выводится с калом. Существует два пути транспорта ионов в эпителии кишечника; межклеточный коллатеральный путь (пассивный путь транспорта через плотное соединение) и трансклеточный путь (активный путь транспорта). Проницаемость калия обычно выше в верхних отделах тонкой кишки (тощая > подвздошная кишка), и большая его часть быстро всасывается по межклеточным коллатеральным путям. Проницаемость межклеточных коллатеральных трактов толстой кишки ниже, чем проницаемость тонкой кишки, хотя в толстой кишке существуют регуляторные механизмы абсорбции калия через водородно-калиевую аденозинтрифосфатазу в клеточном пути и секреции калия через почечный наружный медуллярный канал на стороне просвета. Также было высказано предположение о наличии фактора кишечного происхождения, который увеличивает почечную секрецию калия за счет его загрузки в желудочно-кишечный тракт [13].

Калий регулирует содержание соли (NaCl) в организме посредством того, что NaCl регулируется реабсорбцией через тиазид-чувствительные котранспортеры Na-Cl (NCK) в дистальных канальцах, эпителиальный натриевый канал в собирательных трубочках и пендрин. В условиях низкого калия реабсорбция NaCl усиливается за счет активации NCK и пендрина, тогда как в условиях высокого калия экскреция натрия с мочой усиливается за счет притока калия в клетки через K-каналы в дистальных канальцах. Таким образом, калий считается фактором, который может облегчить последствия гипертензии, вызванной чрезмерным потреблением соли, и его антигипертензивный эффект известен уже давно [13].

Недавно антигипертензивный эффект калия стал более очевидным в результатах рандомизированного контролируемого исследования пациентов с гипертонией. Диета, богатая фруктами и овощами, не только улучшает чувствительность к соли, связанную с

высоким кровяным давлением, и снижает кровяное давление, но также снижает риск почечной недостаточности и сердечно-сосудистых заболеваний. Более того, в последние годы было рекомендовано устанавливать более высокую оптимальную концентрацию калия в сыворотке у пациентов с острым инфарктом миокарда, сердечной недостаточностью или гипертонией. У пациентов с хроническими болезнями почек (ХБП) было замечено, что артериальное давление имеет тенденцию быть выше у пациентов с низким уровнем калия в сыворотке, в то время как сообщалось, что диета, богатая калием, у пациентов с ХБП стадии G3 снижает артериальное давление без изменения сывороточного давления. Таким образом, необходимо постоянно следить за развитием гиперкалиемии у этих пациентов, следя при этом за тем, чтобы уровень калия в сыворотке крови не был чрезмерно снижен [13].

Одним из представителей функциональных продуктов являются не только фрукты и ягоды, но и напитки растительного происхождения. Одним из таких представителей является зелёный чай. Это многолетний кустарник, листья которого имеют темно-зелёный оттенок в виде овальной формы. Он имеет ароматные цветки, расположение цветочков и прицветников по форме спирали. Также имеет коробочки, являющиеся плодами данного кустарника. Самая большая концентрация их выращивания – в Восточной Азии, Африке и Южной Америке [14].

Химический состав данного кустарника разнообразен, поэтому он является напитком довольно крепким и полезным [14]. В его составе имеется кофеин, который придает энергию и силы. Также в его составе присутствуют различные минералы, которые способствуют улучшению органов всего организма человека. Минеральный и витаминный состав зеленого чая представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Витамины и минералы в составе зеленого чая

Наименование витаминов и минералов	Содержание на 100г. продукта
Витамин С	90 мг
Витамин Е	40 мг
Бета каротин	12 мг
Витамин В ₂	1 мг
Витамин В ₁	0,35 мг
Кремний	0,97 мг

И еще одним составляющим зеленого чая являются катехины – одни из представителей крупнейшего класса флавоноидов. Катехины также проявляют антиоксидантные свойства и намного эффективнее действуют на организм, чем витамины. Подавляя свободные радикалы кислорода, они снижают риск возникновения раковых опухолей. Помимо этого, повышается уровень иммунитета, разрушаются различные микробы и из-за этой особенности врачи рекомендуют его против дизентерии.

Применение зеленого чая довольно широко: от народной медицины до фармацевтики и косметики. Также зеленый чай пользуется спросом в различных увлажняющих кремах и биологически активных добавках. Его используют в качестве борьбы с кариесом, атеросклерозе, гипертонии, ожогах, раковых опухолях, он способствует улучшению качества сосудов, уничтожая холестерин, тем самым омолаживая организм и ускоряя процесс обмена липидов в нем.

Одним из научно доказанных фактов о зеленом чае является его применение в борьбе против онкологических и хронических заболеваний. Зеленый чай содержит эпигаллокатехин, который в свою очередь помогает организму бороться с различными опухолями.

Стимулирование работы мозга – еще одна особенность зеленого чая [2]. Хотя он и имеет в своем составе кофеин, он содержится в небольших количествах, не причиняя вред организму, а наоборот настраивает его на работу и даже успокаивает при нервных срывах. Благодаря нахождению L-теанина в составе зеленого чая, помимо успокаивающего эффекта, чай заставляет организм вырабатывать дофамин и альфа-волны, что благотворно сказывается

на нервной системе человека [15].

Основным витамином, входящим в состав зеленого чая, является витамин Е; этот витамин также занимает второе место в составе черники.

Существует восемь естественных форм витамина Е, а именно альфа-, бета-, гамма- и дельта-классы токоферола и токотриенола, которые синтезируются растениями из гомогентизиновой кислоты. Альфа- и гамма-токоферолы являются двумя основными формами витамина, относительные пропорции которых зависят от источника. Самым богатым пищевым источником витамина Е являются пищевые растительные масла, поскольку они содержат все гомологи в различных пропорциях. Среди токоферолов альфа- и гамма-токоферолы обнаруживаются в сыворотке и эритроцитах, причем альфа-токоферол присутствует в самой высокой концентрации. Бета- и дельта-токоферолы обнаруживаются в плазме лишь в незначительных концентрациях. Преимущественное распределение альфа-токоферола у людей по сравнению с другими формами токоферола обусловлено более быстрым метаболизмом других форм и белком-переносчиком альфа-токоферола. Благодаря сродству связывания альфа-токоферола с белком-переносчиком альфа-токоферола, большая часть абсорбированных бета-, гамма- и дельта-токоферолов секретируется в желчь и выводится с калом, тогда как альфа-токоферол в основном выводится с мочой. Форма альфа-токоферола также накапливается в не печёночных тканях, особенно в местах, где продукция свободных радикалов наибольшая, например, в мембранах митохондрий и эндоплазматической сети в сердце и легких [16].

Витамин Е является мощным антиоксидантом, разрывающим цепи, который ингибирует выработку молекул активных форм кислорода, когда жир подвергается окислению и во время распространения свободнорадикальных реакций. Он в основном локализуется в мембранах клеток и органелл, где может оказывать максимальное защитное действие, даже если соотношение его концентраций может составлять всего одну молекулу на каждые 2000 молекул фосфолипида. Он действует как первая линия защиты от перекисного окисления липидов, защищая клеточные мембраны от атаки свободных радикалов. Исследования показали, что смесь токоферолов оказывает более сильное ингибирующее действие на перекисное окисление липидов, индуцированное в эритроцитах человека, по сравнению с одним альфа-токоферолом. Благодаря своей активности по улавливанию пероксильных радикалов, он также защищает полиненасыщенные жирные кислоты, присутствующие в мембранных фосфолипидах и липопротеинах плазмы. Образовавшиеся токофероксильные радикалы могут: (1) окислять другие липиды; (2) подвергаться дальнейшему окислению с образованием токоферилхинонов; (3) образуют нереакционноспособные димеры токоферола в результате реакции с другим токофероксильным радикалом или (4) восстанавливаются другими антиоксидантами до токоферола [16].

Было обнаружено, что увеличение концентрации альфа-токоферола в эндотелиальных клетках ингибирует агрегацию тромбоцитов и высвобождает простаглицлин из эндотелия. Считалось, что этот эффект возникает из-за подавления молекулы внутриклеточной клеточной адгезии и молекулы адгезии сосудистых клеток, тем самым уменьшая адгезию компонентов клеток крови к эндотелию. Кроме того, из-за их активации витамином Е в каскаде арахидоновой кислоты происходит увеличение экспрессии цитозольной фосфолипазы А2 и циклооксигеназы-1, увеличивается высвобождение простаглицлина, который является мощным сосудорасширяющим средством и ингибитором агрегации тромбоцитов у людей [16].

За счет ускорения процессов обмена в организме экстракт зеленого чая используется в большинстве биологических добавок для сжигания жира [17]. Были проведены исследования на эффективность данного экстракта на людях, в ходе которого выяснилось, что при регулярном употреблении он увеличивает метаболизм и окисление жиров в организме. А при комбинировании с кофеином, эффективность данного напитка в качестве жиросжигающего увеличивается почти в два раза [18].

Употребление зеленого чая находит применение и как способ омоложения головного мозга человека. Проводились исследования, в результате которых исследователи пришли к выводу, что употребление зеленого чая защищает от возникновения болезни Альцгеймера, Паркинсона и старческого слабоумия [19, 20].

Были проведены другие исследования, в ходе которых ученые пришли к выводу, что при употреблении зеленого чая в большом количестве он снижает риск возникновения диабета на 18 %, а его развитие – на 42 %. Также можно смело предположить, что при снижении общей доли содержания холестерина в организме при употреблении данного напитка уменьшается и риск развития инфаркта и инсульта [21].

Выводы. Использование функциональных продуктов сегодня имеет важную роль в формировании здорового образа жизни в современной концепции долголетия и качества жизни человечества. Употребление функциональных продуктов и напитков позволит лучше защитить и вооружить организм и всю его иммунную систему. Правильное и умеренное питание придаст больше жизненных сил и энергии на протяжении долгих лет. А использование функциональных продуктов, таких как апельсины, ежевика и зеленый чай позволит людям, имеющим проблемы с лишним весом, добиться улучшения их качества жизни.

Список используемой литературы:

1. *Асякина Л.К., Степанова А.А., Тамарзина Т.В., Лосева А.И., Величкович Н.С.* Российский рынок функциональных продуктов питания для здорового образа жизни человека // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022. № 3. С. 29–41.
2. Функциональное питание. Что это такое? ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае». URL: <https://www.59fbuz.ru/press-center/news/funktsionalnoe-pitanie-cto-eto-takoe-#:~:text=Функциональные%20продукты%20питания%20%20это,культуры%2C%20богатые%20отдельными%20полезными%20веществами> (дата обращения: 19.12.2023).
3. *Юлдашева Ш.Ж., Алиева Н.И., Камалова М.Б.* Свойства продуктов функционального питания // Вопросы науки и образования. 2018. № 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-produktov-funktsionalnogo-pitaniya> (дата обращения: 11.02.2024).
4. *Ловкис З., Моргунова Е.* Функциональные продукты питания // Наука и инновации. 2019. № 12 (202). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-produkty-pitaniya> (дата обращения: 11.02.2024).
5. *Новикова М.В., Галицкий В.В.* Продукты функционального питания // Вестник евразийской науки. 2015. № 1 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/produkty-funktsionalnogo-pitaniya> (дата обращения: 11.02.2024).
6. *Морева А.В.* Функциональные пищевые продукты питания // Символ науки. 2020. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-pischevye-produkty-pitaniya> (дата обращения: 11.02.2024).
7. *Гайсина Д.А.* Анализ ассортимента функциональных продуктов питания // E-Scio. 2020. № 2 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-assortimenta-funktsionalnyh-produktov-pitaniya-1> (дата обращения: 18.02.2024).
8. *Кунакова Р.В., Зайнуллин Р.А., Хуснутдинова Э.К., Ялаев Б.И.* Здоровое питание XXI века: функциональные продукты питания и нутригеномика // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2016. № 3 (83). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zdorovoe-pitanie-xxi-veka-funktsionalnye-produkty-pitaniya-i-nutrigenomika> (дата обращения: 18.02.2024).
9. *Моисеенко М.С., Мукатова М.Д.* Пищевые продукты питания функциональной направленности и их назначение // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pischevye-produkty-pitaniya-funktsionalnoy-napravlennosti-i-ih-naznachenie> (дата обращения: 18.02.2024).

10. Апельсин – полезные свойства, состав и противопоказания. URL: <https://edaplus.info/produce/orange.html> (дата обращения: 20.12.2023).
11. Черника – Полезные и опасные свойства черники. URL: <https://edaplus.info/produce/bilberry.html> (дата обращения: 20.12.2023).
12. *Тимирханова Г.А., Абдуллина Г.М., Кулагина И.Г.* Витамин С: классические представления и новые факты о механизмах биологического действия // Вятский медицинский вестник. 2007. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vitamin-s-klassicheskie-predstavleniya-i-novye-fakty-o-mehanizmah-biologicheskogo-deystviya> (дата обращения: 18.05.2024).
13. *Елисеева Т., Мироненко А.* Калий (К, potassium) – описание, влияние на организм, лучшие источники // Журнал здорового питания и диетологии. 2020. № 13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kaliy-k-potassium-opisanie-vliyanie-na-organizm-luchshie-istochniki> (дата обращения: 18.05.2024).
14. *Павлова Г.В., Ботникова Е.А., Бывальцева В.А.* Функциональные продукты в питании человека: перспективы и рекомендации по использованию // Концепт. 2016. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-produkty-v-pitanii-cheloveka-perspektivy-i-rekomendatsii-po-ispolzovaniyu> (дата обращения: 18.02.2024).
15. *Захарова И.Н., Бережная И.В., Сгибнева А.И.* Применение продуктов функционального питания в детском возрасте // Педиатрия. Приложение к журналу Consilium Medicum. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-produktov-funktsionalnogo-pitaniya-v-detskom-vozhraze> (дата обращения: 18.02.2024).
16. *Абдуллаева Ш.А., Усмонова М.О., Сайдазимова С.Ш., Акбарходжаева Х.Н.* Биохимия витамина Е // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2023. № 4-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biohimiya-vitamina-e> (дата обращения: 18.05.2024).
17. *Iso H, Date C, Wakai K, Fukui M, Tamakoshi A.* The relationship between green tea and total caffeine intake and risk for self-reported type 2 diabetes among Japanese adults // Annals of Internal Medicine. 2006. Vol. 144. № 1. P. 554.
18. Польза и вред зелёного чая, как его заваривать? URL: https://www.ayzdorov.ru/tvtravnik_zelennii_chaii.php (дата обращения: 21.12.2023).
19. *Пилипенко Т.В.* Изучение качества и функциональных свойств образцов китайского зеленого чая // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-kachestva-i-funktsionalnyh-svoystv-obraztsov-kitayskogo-zelenogo-chaya> (дата обращения: 11.02.2024).
20. *Шульга Н.Н., Шульга И.С.* Антибактериальные свойства чая // Евразийский Союз Ученых. 2020. № 1-1 (70). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibakterialnye-svoystva-chaya> (дата обращения: 11.02.2024).
21. *Марков П., Марков Д., Воденичарова А., Байкова Д.* Благоприятные медико-биологические эффекты функциональных продуктов питания // Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири. 2016. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blagopriyatnye-mediko-biologicheskie-effekty-funktsionalnyh-produktov-pitaniya> (дата обращения: 18.02.2024).

References:

1. Asyakina L.K., Stepanova A.A., Tamarina T.V., Loseva A.I., Velichkovich N.S. Rynok funktsionalnyh produktov pitaniya dlya zdorovogo obraza zhizni cheloveka [The Russian market of functional food products for a healthy lifestyle]. *Sotsialno-ekonomicheskii i gumanitarny jurnal* [Socio-economic and Humanitarian Journal], 2022, no. 3, pp. 29–41. (In Russian).
2. *Funkcional'noe pitanie. Chto eto takoe? FBUZ «Tsentr gigieni i epidemiologii v Permskom krae»* [Functional nutrition. What is it? Federal budgetary healthcare institution “Center for Hygiene and Epidemiology in the Perm Region”]. (In Russian). Available at:

- <https://www.59fbuz.ru/press-center/news/funktsionalnoe-pitanie-chto-eto-takoe-/#:~:text=Функциональные%20продукты%20питания%20%20это,культуры%2C%20богатые%20отдельными%20полезными%20 of the items> (accessed 19.12.2023).
3. Yuldasheva Sh. Zh., Aliyeva N. I., Kamalova M. B. Svoystva produktov funktsionalnogo pitaniya [Properties of functional nutrition products]. *Voprosy nauki i obrazovaniya* [Issues of science and education], 2018, vol. 2 (14). (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-produktov-funktsionalnogo-pitaniya> (accessed 11.02.2024).
 4. Lovkis Z., Morgunova E. Funktsionalnye produkty pitaniya [Functional food products]. *Nauka i innovacii* [Science and innovation], 2019, no. 12 (202). (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-produkty-pitaniya> (accessed 11.02.2024).
 5. Novikova M. V., Galitsky V. V. Produkty funktsionalnogo pitaniya [Functional nutrition products]. *Vestnik evrazijskoj nauki* [Bulletin of Eurasian Science], 2015, vol. 1 (26). (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/produkty-funktsionalnogo-pitaniya> (accessed 11.02.2024).
 6. Moreva A.V. Funktsionalnye pischevye produkty pitaniya [Functional food products]. *Simvol nauki* [Symbol of science], 2020, vol. 5. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-pischevye-produkty-pitaniya> (accessed 11.02.2024).
 7. Gaisina D.A. Analiz assortimenta funktsionalnyh produktov pitaniya [Analysis of the assortment of functional food products]. *E-Scio* [E-Scio]. 2020, vol. 2 (41). (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-assortimenta-funktsionalnyh-produktov-pitaniya-1> (accessed 18.02.2024).
 8. Kunakova R.V., Zainullin R.A., Khusnutdinova E.K., Yalaev B.I. Zdorovoe pitanie XXI veka: funktsionalnye produkty pitaniya i nutrigenomika [Healthy nutrition of the XXI century: functional food and nutrigenomics]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan]. 2016, vol. 3 (83). (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/zdorovoe-pitanie-xxi-veka-funktsionalnye-produkty-pitaniya-i-nutrigenomika> (accessed 18.02.2024).
 9. Moiseenko M. S., Mukatova M. D. Pischevye produkty pitaniya funktsionalnoj napravlenosti i ih naznachenie [Food products of functional orientation and their purpose]. *Vestnik AGTU. Seriya: Rybnoe hozyajstvo* [Bulletin of the ASTU. Series: Fisheries]. 2019, vol. 1. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/pischevye-produkty-pitaniya-funktsionalnoy-napravlenosti-i-ih-naznachenie> (accessed 18.02.2024).
 10. *Apel'sin – poleznye svoystva, sostav i protivopokazaniya* [Orange – useful properties, composition and contraindications]. (In Russian). Available at: <https://edaplus.info/produce/orange.html> (accessed 20.12.2023).
 11. *Chernika – Poleznye i opasnye svoystva cherniki* [Blueberries – Useful and dangerous properties of blueberries]. (In Russian). Available at: <https://edaplus.info/produce/bilberry.html> (accessed 20.12.2023).
 12. Timirhanova G. A., Abdullina G. M., Kulagina I. G. Vitamin C: klassicheskie predstavleniya i novie fakti o mexanizmah biologicheskogo deystviya [Vitamin C: classical concepts and new facts about the mechanisms of biological action]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik* [Vyatka Medical Bulletin], 2007, vol. 4 (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vitamin-s-klassicheskie-predstavleniya-i-novye-fakty-o-mehanizmah-biologicheskogo-deystviya> (accessed 18.05.2024).
 13. Yeliseeva T., Mironenko A. Kaliy (K, potassium) – opisanie, vliyaniena organizm, luchshie istochniki [Potassium (K, potassium) – description, effects on the body, the best sources]. *Jurnal zdorovogo pitaniya i dietologii* [Journal of Healthy Nutrition and Dietetics], 2020, vol. 13 (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kaliy-k-potassium-opisanie-vliyanie-na-organizm-luchshie-istochniki> (accessed 18.05.2024).

14. Pavlova G.V., Bortnikova E.A., Byvaltseva V.A. Funkcionalnye produkty v pitanii cheloveka: perspektivy i rekomendacii po ispolzovaniyu [Functional products in human nutrition: prospects and recommendations for use]. *Kontsept* [Concept], 2016, vol. 10. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-produkty-v-pitanii-cheloveka-perspektivy-i-rekomendatsii-po-ispolzovaniyu> (accessed 18.02.2024).
15. Zakharova I. N., Berezhnaya I. V., Shibneva A. I. Primenenie produktov funkcionalnogo pitaniya v detskom vozraste [The use of functional nutrition products in childhood]. *Pediatriya. Prilozhenie k zhurnalu Consilium Medicum* [Pediatrics. Appendix to the journal Consilium Medicum]. 2021, vol. 1. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-produktov-funktsionalnogo-pitaniya-v-detskom-vozraste> (accessed 18.02.2024).
16. Abdullaeva Sh.A., Usmonova M.O., Saydzazimova S.Sh., Akbarxodjaeva Kh.N. Biohimiya vitamina E [The biochemistry of vitamin E]. *Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2023. vol. 4-2 (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/biohimiya-vitamina-e> (accessed 18.05.2024).
17. Iso H, Date C, Wakai K, Fukui M, Tamakoshi A. The relationship between green tea and total caffeine intake and risk for self-reported type 2 diabetes among Japanese adults. *Annals of Internal Medicine*, 2006, vol. 144, no. 1, P. 554. (In English).
18. *Pol'za i vred zelyonogo chaya, kak ego zavarivat'?* [The benefits and harms of green tea, how to brew it?]. (In Russian). Available at: https://www.ayzdorov.ru/tvtravnik_zelennii_chaii.php (accessed 21.12.2023).
19. Pilipenko T.V. Izuchenie kachestva i funkcionalnyh svoystv obrazcov kitajskogo zelenogo chaya [Studying the quality and functional properties of Chinese green tea samples]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishевye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology], 2014, vol. 4. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-kachestva-i-funktsionalnyh-svoystv-obraztsov-kitajskogo-zelenogo-chaya> (accessed 11.02.2024).
20. Shulga N. N., Shulga I. S. Antibakterialnye svoystva chaya [Antibacterial properties of tea]. *Evrasijskij Soyuz Uchenyh* [Eurasian Union of Scientists]. 2020, vol. 1-1 (70). (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibakterialnye-svoystva-chaya> (accessed 11.02.2024).
21. Markov P., Markov D., Vodenicharova A., Baykova D. Blagopriyatnye mediko-biologicheskie efekty funkcionalnyh produktov pitaniya [Favorable biomedical effects of functional foods]. *Vestnik po pedagogike i psihologii Yuzhnoj Sibiri* [Bulletin on pedagogy and psychology of Southern Siberia]. 2016, vol. 1. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/blagopriyatnye-mediko-biologicheskie-effekty-funktsionalnyh-produktov-pitaniya> (accessed 18.02.2024).

Сведения об авторах/ Information about authors

Крюк Роман Владимирович	канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания животного происхождения Кемеровский государственный университет технологический институт пищевой промышленности 650056, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Бульвар строителей, 47 roman.kryuk.94@mail.ru
Kryuk Roman Vladimirovich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor of the Department of technologies of foods products of animal origin Kemerovo State University Technological Institute of Food Industry 650056, Kemerovo region, Kemerovo, Builders blvd., 47 roman.kryuk.94@mail.ru

- Курбанова
Марина Геннадьевна** д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологии продуктов питания животного происхождения
Кемеровский государственный университет технологический институт пищевой промышленности
650056, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Бульвар строителей, 47
kurbanova-mg@mail.ru
- Kurbanova
Marina Gennadievna Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor, Head of the Department of technologies of foods products of animal origin
Kemerovo State University Technological Institute of Food Industry
650056, Kemerovo region, Kemerovo, Builders blvd., 47
kurbanova-mg@mail.ru
- Колбина
Анастасия Юрьевна** канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания животного происхождения
Кемеровский государственный университет технологический институт пищевой промышленности
650056, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Бульвар строителей, 47
jo1992@yandex.ru
- Kolbina
Anastasia Yurievna Ph.D. (Engin.), Associate Professor of the Department of technologies of foods products of animal origin
Kemerovo State University Technological Institute of Food Industry
650056, Kemerovo region, Kemerovo, Builders blvd., 47
jo1992@yandex.ru
- Головешкин
Егор Алексеевич** лаборант экологического инжиниринга
Кемеровский государственный университет технологический институт пищевой промышленности
650056, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Бульвар строителей, 47
egortip12@mail.ru
- Goloveshkin
Egor Alekseevich Environmental Engineering Laboratory Assistant
Kemerovo State University Technological Institute of Food Industry
650056, Kemerovo region, Kemerovo, Builders blvd., 47
egortip12@mail.ru