

Keywords:

radiation treatment, gamma-ray installation, electronic accelerator, fish, fish products, irradiation, microbiological contamination, quality indicators, storage time, regulatory regulation, safety

Радиационные технологии в рыбной отрасли

DOI

Канд. биол. наук

В.О. Кобялко – ведущий научный сотрудник;

Канд. биол. наук

В.Я. Саруханов – старший научный сотрудник;аспирант **И.В. Полякова** – научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (ФГБНУ «ВНИИРАЭ»), г. Обнинск

@ nar@obninsk.org

Ключевые слова:

радиационная обработка, гамма-установка, электронный ускоритель, рыба, рыбная продукция, облучение, микробиологическое загрязнение, показатели качества, сроки хранения, нормативное регулирование, безопасность

RADIATION TECHNOLOGIES IN FISHERIES

V. Kobyalko, PhD; V. Sarukhanov, PhD; I. Polyakova, postgraduate – Russian Institute of Radiology and Agroecology, nar@obninsk.org

An overview of the possibilities of radiation technologies using in the fishing industry is presented. The modes and conditions of radiation treatment for various types of fish and fish products that provide microbiological safety, inactivation of parasites, increasing the shelf life and preserving quality indicators are specified. The toxicological, mutagenic and carcinogenic safety of radiation-treated products is emphasized. An idea of the economic efficiency, practical use, and regulatory regulation of radiation technologies in the world and the Russian Federation is given. The article outlines the successes and problems of introducing promising technology in the fishing industry in the territory of the EAEU.

Роль рыбной продукции, получаемой из уловов водных биологических ресурсов и объектов аквакультуры, растительного и животного происхождения, в рационе населения постоянно возрастает, так как она способна обеспечить полноценный баланс белков, витаминов и минералов (кальций, фосфор и железо) без избыточной калорийности. Кроме того, рыбные продукты – источник незаменимых Омега 3/Омега 6 ненасыщенных жирных кислот [1]. Только в Российской Федерации в 2017 г. было выловлено водных

биологических ресурсов 4,77 млн т, а в 2018 г. – 5,03 млн т (по данным Федерального агентства по рыболовству, 2017; 2018 гг.). На территории Евразийского экономического союза рыбная продукция составляет значительную долю (6-8%) во взаимовыгодном товарообороте [2]. В то же время, по данным ФАО, потери рыбного сырья и готовой продукции достигают 25%, главным образом, за счет микробиологической порчи, а присутствие в них микроорганизмов, способных вызывать пищевые токсикоинфекции, при-

водит к дополнительным социально-экономическим расходам [3; 4].

Уровень и разнообразие микробиологического загрязнения зависит от вида рыбы или морепродукта, а также обусловлено такими факторами как загрязненность и географическое положение водоема, время года и орудия лова [5]. Рыхлая консистенция мяса рыбы способствует распространению микроорганизмов в мышечной ткани и интенсификации процессов порчи [6]. Быстрое охлаждение и замораживание препятствуют развитию микробиологического загрязнения, но плесени, дрожжи и споровые формы бактерий длительно сохраняются при низких температурах и при производстве пищевой продукции из размороженного сырья могут стать причиной не только нарушения показателей качества, но и опасных желудочно-кишечных инфекций. В свою очередь, на вяленой и копченой рыбе развиваются личиночные формы насекомых-вредителей, которые существенно снижают качество и сроки использования продукта.

Одним из наиболее актуальных и высокотехнологичных способов обеспечения безопасности и увеличения сроков годности пищевых продуктов, наряду с замораживанием, сушкой и консервированием, является радиационная обработка (РО) [7]. В настоящее время для РО пищевых продуктов разрешено применять установки со следующими видами ионизирующего излучения: электронное излучение до 10 МэВ, гамма-излучение радиоизотопов ^{60}Co и ^{137}Cs , тормозное рентгеновское излучение с энергией не более 5 МэВ [8]. Проведение обработки пищевых продуктов в тех режимах, которые рекомендованы общепринятыми Международными документами, обеспечивает их полную безвредность, как с радиационной, так и с токсической точки зрения [9]. При этом РО упакованных продуктов исключает вероятность повторного микробиологического загрязнения на этапах хранения или транспортировки. Целостность упаковки, обеспечивающей сохранность достигнутого антимикробного эффекта, не нарушается, продукт не нагревается и обрабатывается весь объем. В полной мере это относится к РО рыбной продукции.

Основным итогом, осуществленных за более чем 60 лет научных исследований, является разработка режимов РО различных видов пищевых продуктов, которые позволяют достичь необходимых компетенций без нарушения качественных показателей. Полученные результаты, заложенные в основу применения ионизирующих излучений, учитывают многофакторность, как самого процесса облучения, так и особенности обрабатываемого продукта. Обобщенная информация сосредоточена в технических документах МАГАТЭ, ВОЗ и ФАО [10; 11] и успешно используется при создании международных и национальных стандартов, определяющих возможность безопасного применения РО в агропромышленной сфере. Подобные нормативные документы разрабатываются в области РО рыбы и рыбной продукции, что позволяет осуществлять необходимые технологические процедуры [12-14]. Установленные в этих документах (стандартах) предельные дозы радиации или радиационной (холодной) пастеризации

Представлен обзор возможностей применения радиационных технологий в рыбной отрасли. Указываются режимы и условия радиационной обработки различных видов рыбы и рыбной продукции, которые обеспечивают микробиологическую безопасность, инактивацию паразитов, увеличение сроков хранения и сохранение показателей качества. Подчеркивается токсикологическая, мутагенная и канцерогенная безопасность радиационно-обработанной продукции. Дается представление об экономической эффективности, практическом использовании и нормативном регулировании радиационных технологий в мире и Российской Федерации. Обозначены успехи и проблемы внедрения перспективной технологии в рыбной отрасли на территории ЕАЭС.

(<10 кГр) позволяют инактивировать неспорообразующие и вегетативные формы микроорганизмов (патогенных и порчи), а также значительно увеличивать сроки хранения продукции. Для каждого конкретного продукта определяется не только возможность и режимы РО, но и эффективность применения новых образцов источников ионизирующего излучения [15; 16]. Так, для антимикробной обработки охлажденной рыбы и рыбопродуктов экспериментальные исследования позволили установить оптимальный диапазон доз облучения (1-3 кГр) [17-25]. В большинстве случаев этого достаточно, чтобы снизить количество микроорганизмов, вызывающих порчу, примерно на 1-3 log КОЕ/г. Величина дозы облучения определяется исходным уровнем микробной обсемененности, который, для достижения максимального увеличения сроков хранения, не должен превышать разрешенного нормативными документами микробиологического загрязнения конкретного продукта. В таблицах 1 и 2 приведены значения доз РО, условия и сроки хранения различных видов морской и пресноводной рыбы, а также моллюсков после облучения.

Эти данные являются результатом исследований, в которых оценивали эффективность различных вариантов РО на микробиологические, физико-химические и сенсорные показатели рыбной продукции, с учетом вида упаковки и среды облучения [26]. Было установлено, что на величину дозы РО и длительность сроков хранения продукции влияет содержание жира в мышечной ткани. Облучение нежирных и среднежирных сортов рыбы в дозах от 1,5 до 3,0 кГр увеличивает продолжительность хранения при низких положительных температурах (0-2°C) от 3 до 5 раз и может достигать 30-40 сут. (табл. 1). В то же время, облучение жирных сортов, в этом диапазоне доз, увеличивает сроки хранения только в 1,5-2,5 раза и величина дозы облучения ограничена регистрируемым нарушением сенсорных показателей. В моллюсках, гребешках и ракообразных содержание жира не превышает 1-2%. Это позволяет использовать более высокие дозы облучения для моллюсков (4,5 кГр) и продлевать сроки хранения в 5-6 раз (табл. 2). РО мяса крабов в дозах 2 кГр увеличивает

Таблица 1. Сроки годности рыбы и рыбопродуктов после радиационной обработки (РО) /
Table 1. Shelf life of fish and fish products after radiation treatment

Вид рыбы	Сорт рыбы	Доза облучения, кГр	Температура, °С	Сроки хранения, сутки	
				до РО	после РО
Филе трески	Нежирный < 4%	1,5	0,6	8,0	32
Калифорнийский палтус		2,0	0,6	7,0	25
Стейк палтуса		2,5	0,0	11,0	30
Палтус		3,0	0,0	7,0	30
Форель (вакуум)	Среднежирный 4-8 %	1,5	0-2	15,0	28
Камбала чернобокая		4,5	0,0	10,0	22
Филе камбалы желтой		1,0-2,0	0-2	10,0	29
Филе камбалы		2,0-3,0	0,6	5,0	30
Окунь желтый		3,0	0,6	11,0	42
Океанский окунь		1,5-2,5	0,6	13,0	28
Форель		3,0	0,6	8,0	26
Бомбейская утка		1-2	0-1	7,0	25
Масляная рыба		1,2-2,3	0,0	12,0	49
Брама белый		1,0-2,0	0-1	10,0	35
Брама черный		1,0-2,0	0-1	10,0	25
Сом канальный		1-2	0,0	4,0	20
Карп (вакуум)	5,0	0-2	15,0	35	
Лосось индийский	Жирный >8 %	1,0-2,0	0-1	10,0	25
Сиг		1,5-3,0	0,0	13,0	20
Скумбрия атлантическая		2,5	0,6	9,0	30
Скумбрия индийская		1,5	0-2	12,0	25

сроки хранения в 5 раз, устриц – в 4 раза, а креветок – в 2 раза. Сроки хранения гребешков увеличиваются в 2 раза при дозе облучения 0,75 кГр. Ограничение величины дозы облучения (<2 кГр) для данных видов морских беспозвоночных связано с регистрируемым изменением цвета обрабатываемой продукции. Следовательно, в величину дозы РО различных видов рыбы и морепродуктов вносят коррективы такие факторы, как процент жирности пищевого сырья и высокая чувствительность сенсорных показателей, а среднее увеличение сроков годности продукции после РО достигает 2-3 раза. Кроме того, на эффективность РО (максимальное продление сроков хранения) большинства морских и пресноводных видов рыб существенно влияет начальное качество сырья. Рыбу, содержащуюся на льду в течение 2-3 дней после вылова, также можно обрабатывать, но эффект увеличения срока хранения снижается.

Для РО многих видов рыб с низким и средним содержанием жира была признана удовлетворительной герметичная упаковка с воздушной средой. Наилучшие результаты достигаются при использовании вакуумной упаковки, но в таком случае последующее хранение при температурах более 3°C требует учета возможности развития *S. botulinum* и накопления опасных концентраций ботулотоксина. В связи с этим, большое внимание уделяется РО замороженных рыбы и рыбопродуктов. Несмотря на увеличение устойчивости микроорганизмов к облучению при низких температурах, в этом случае можно использовать более высокие дозы радиационной обработки (гамма- и электронного излучений), так как воз-

растает стойкость сенсорных и физико-химических показателей продукции, а *S. botulinum* в вакуумной упаковке при отрицательных температурах не развивается [27]. Поэтому различные виды замороженной рыбной продукции обрабатываются при дозах 3-6 кГр, что позволяет увеличивать срок хранения до 2 и более раз (с 6 до 12 месяцев).

Большое внимание уделяется изучению устойчивости *Listeria monocytogenes* (один из наиболее распространенных и опасных патогенов рыбной продукции, способный образовывать биопленки) к облучению, в зависимости от типа обрабатываемой продукции и температурных условий [28]. Активно ведется поиск комбинаций химического и радиационного воздействия, позволяющих снизить величины концентраций химических агентов и дозовой нагрузки на продукцию при сохранении оптимального антимикробного эффекта [29].

Показана высокая результативность РО сушеной и копченой рыбы. При облучении в дозах 3-5 кГр достигается значительный антимикробный эффект в отношении всех видов бактерий, дрожжей и плесеней при сохранении показателей качества [30; 31]. В то же время радиационная дезинсекция рыбопродуктов с влажностью ниже 40% осуществляется в дозах до 1 кГр [32], а уничтожение гельминтов и простейших, часто обнаруживаемых в мышечной ткани креветок и рыб на рыбных фермах Юго-Восточной Азии и Китая, достигается РО в диапазоне доз от 0,15 до 1,0 кГр [33].

Обеспечение микробиологической безопасности и увеличение сроков хранения продукции в результа-

те облучения не должно сказываться на показателях ее биологической ценности для потребителя и органолептических показателях – это одно из основных требований к РО. Было показано, что содержание большинства аминокислот и белков в продукции при облучении в широком диапазоне доз сохраняется. Так, снижение триптофана в мясе креветок после облучения в диапазоне доз от 2 до 45 кГр и во время хранения в различных условиях температуры и влажности составило менее 1% даже при максимальных уровнях воздействия [34]. Содержание основных незаменимых аминокислот в филе пикши не отличалось от контрольных значений при обработке на электронном ускорителе в дозе 53 кГр [35]. Аналогичные результаты были получены в отношении содержания аминокислот в тканях трески после РО [36].

Важным параметром при определении качества рыбной продукции после облучения является изменение цвета мышечной тканей [37]. Продукты радиолиты могут вызвать окисление миоглобина, приводя к обесцвечиванию и возникновению постороннего запаха или вкуса [38]. Изменение цвета в рыбных продуктах с окрашенным мясом отмечали при облучении в дозе 3 кГр. Присутствие CO₂ в модифицированной газовой смеси упаковки приводило к образованию метмиоглобина [39; 40]. Поэтому для продукции с потребительски значимой окраской мышечной ткани необходимо учитывать возможное изменение этого показателя вследствие РО или использовать антиоксиданты для защиты пигментов.

Другим важным критерием питательной ценности рыбной продукции является наличие различных незаменимых жирных кислот. Если для упакованного под вакуумом филе сельди гамма-облучение при 0оС в дозе 50 кГр не влияло на долю полиненасыщенных жирных кислот [41], то у морского окуня с жирностью более 6% незначительное снижение полиненасыщенных жирных кислот отмечалось после облучения в дозе 3 кГр [42]. Изменение содержания жирных кислот (ненасыщенных жирных кислот и триглицеридов) в одинаковой степени определяется процессами окисления во время хранения, как в облученных (<10 кГр) образцах рыбной продукции, так и в не облученных [43-45].

Исследованиями разных авторов продемонстрировано влияние облучения на содержание витаминов в рыбной продукции [46; 47]. При дозах РО более 6 кГр происходит снижение уровня рибофлавина

и тиамин, но только при дозах более 30 кГр – витамина С и ряда токоферолов. Большое влияние на концентрацию витаминов в облученной рыбной продукции оказывают тип упаковки и температурный режим, как обработки, так и условий хранения. В то же время уровни снижения содержания некоторых витаминов после облучения сравнимы с последствиями тепловой обработки продукции.

Из-за более рыхлой консистенции тканей мяса большинства видов рыб, при анализе влияния радиационной обработки на качество продукта учитывается изменение показателей активности ферментов и текстуры [49; 50].

Оценка безопасности облученной рыбной продукции по критериям наличия или отсутствия индуцированной радиоактивности, патогенов и их токсинов, токсичных, мутагенных или канцерогенных продуктов радиолиты является одним из важнейших направлений исследований. Тестирование пищи на нескольких поколениях животных – наиболее широко признанный метод установления токсикологической безопасности и пищевой адекватности облученных пищевых продуктов. Различная облученная рыбная продукция, куда входили сардина, лосось, индийская скумбрия, креветки, океанский окунь, камбала, белая рыба, а также рыбная мука, была использована для изучения различных аспектов физиологического состояния лабораторных животных [51]. Это обследование позволило сделать общий вывод о безопасности облученных рыбных продуктов. Токсикологические исследования воздействия продуктов радиолиты, обнаруженных в облученных рыбопродуктах, а также тесты на мутагенность показали, что облученные морепродукты безопасны для потребления человеком [52]. Был так же рассмотрен вопрос о потенциальной опасности мутационных изменений у выживших патогенов и формирование радиационно-устойчивых штаммов при использовании доз облучения до 10 кГр, который зачастую вызывает массу околонучных дискуссий, создающих негативное отношение к радиационной обработке продуктов питания [53]. На основании результатов исследований был сделан вывод о низкой вероятности этого явления при однократном облучении и отсутствии постоянно действующего радиационного фактора, определяющего процесс отбора микроорганизмов с радиационной устойчивостью.

Таблица 2. Сроки годности морепродуктов после радиационной обработки (РО) /

Table 2. Shelf life of seafood after radiation treatment

Морепродукты	Доза облучения, кГр	Температура, °С	Сроки хранения, сутки	
			до РО	после РО
Моллюски	2,0 - 4,5	0,6	6 -10	30,0 - 39,0
Крабы	2,0	0,6	7,0 -10	35,0
	2,0	3,0	8	28,0
Лобстеры	0,75	3,0	14	35,0
Устрицы	2,0	0,0	7	23,0
Гребешки	0,75	0,0	15	28,0
Креветки	1,5	2,0	10	23,0
	2,0	0,0	14	25,0

Уникальные возможности радиационной обработки пищевых продуктов, доказанная эффективность и безопасность определяют огромное внимание к этой технологии во всем мире. Немаловажным фактором повышенного интереса является ее экономическая эффективность, возможности энергосбережения и высокая экологическая безопасность в случае использования электронных ускорителей [54]. Для радиационной обработки пищевых продуктов необходима такая же инфраструктура, что и при использовании других физических процессов, таких как консервирование, замораживание, сушка и т.п. Технологическое обеспечение облучения пищевой продукции требует значительных капиталовложений и, следовательно, экономическая целесообразность может быть достигнута только при наличии достаточно большого ее количества. В случае облучения морепродуктов «центр радиационной обработки» должен быть расположен достаточно близко от места выгрузки улова или изготовления конечной продукции, а его производительная мощность – высокой. В то же время, в отличие от других физических процессов, облучение имеет низкие эксплуатационные расходы, особенно в отношении энергии, необходимой для обработки продуктов питания [55]. Например, стоимость коммерчески целесообразного облучения свежей рыбы составляет 0,1 долл. США за кг. Различные экономические расчеты демонстрируют сравнимый уровень стоимости обработки как для гамма-установок, так и электронных ускорителей с незначительными колебаниями, в зависимости от величины дозы облучения.

Ни одна из технологий, связанных с обработкой пищевой продукции, не регламентирована так тщательно различными международными и национальными нормативными документами. Международный оборот облученных пищевых продуктов предусматривает не только технологическую реализацию радиационной обработки, но и жесткий контроль самого процесса облучения. Для рыбной продукции многофакторный контроль осуществляется до, в процессе и после процедуры РО. На первом этапе для продукции учитывается: вид, размер, сорт, источник, максимальная начальная микробная нагрузка, температура хранения, содержание влаги (сухая рыба), предварительная обработка, такая как засолка (сухая рыба), разделка, очистка, потрошение, приготовление филе (рыба). На втором – для процедуры РО: максимальная и минимальная дозы, коэффициент однородности, средняя доза, температура (замороженные/охлажденные продукты). На третьем – температура хранения и условия транспортировки обработанной продукции.

Международная Комиссия Codex Alimentarius, которая является исполнительным органом Совместной программы FAO/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты, еще в 1983 г. приняла Общий стандарт на облученные продукты питания и Рекомендованный Международный кодекс практики по эксплуатации радиационных установок, используемых для обработки пищевых продуктов [56]. Данный стандарт и Международный кодекс содержат руководящие указания по проектированию средств облучения, которые отвечают требованиям безопасности, эффективности и надлежащей гигиенической практики. Применение облучения к отдельным продуктам

питания или группам пищевых продуктов охватывается специальными кодексами надлежащей практики облучения, разработанными Международной консультативной группой FAO/МАГАТЭ/ВОЗ по облучению пищевых продуктов [57; 58]. Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов (ICGFI), созданная под эгидой FAO, МАГАТЭ и ВОЗ в 1984 г., помогала оценивать глобальные изменения в области облучения пищевых продуктов и предоставляла координационные рекомендации по применению технологии. ICGFI были подготовлены руководства по использованию РО для пищевых продуктов, из которых одно определяет облучение охлажденных свежей рыбы и креветок, а также замороженных креветок для контроля микрофлоры, а второе – облучение сушеной рыбы для дезинсекции. Эти указания, с внесенными корректировками, лежат в основе Международных стандартов, разрабатываемых ASTM (Американская международная добровольная организация, разрабатывающая и издающая стандарты для материалов, продуктов, систем и услуг) и ISO (Международная Организация по Стандартизации). Так стандарт ASTM F 1736-09 (2016) является руководством по облучению свежей рыбы и морепродуктов для борьбы с патогенами и продлению сроков годности.

Используя огромный накопленный опыт применения радиационных технологий, в настоящее время уже 60 стран обрабатывают более 100 различных пищевых продуктов в дозах от 1 до 10 кГр [59]. Безусловными лидерами применения радиационных технологий являются Китай и США (63% рынка облучения проходит на Китай и 22% – на США). Бурное развитие использования облучения для решения практических задач отмечается в странах Юго-Восточной Азии, Латинской Америки и Африки. На сегодняшний день в мире насчитывается 1150 ускорителей и около 200 гамма-установок, в основном сосредоточенных в многофункциональных облучательских центрах, большая доля деятельности которых связана с обработкой пищевой продукции. Исследования применения радиационной обработки рыбы и рыбобпродуктов для борьбы с патогенами и увеличения сроков хранения проводятся в различных регионах мира и более всего там, где актуальность определяется необходимостью сохранить продукцию в условиях критичных температурных режимов, значительных расстояний транспортировки, экономических и социальных потребностей. Облучение рыбной продукции, в том числе свежей (продление срока годности), сушеной (дезинсекция и контроль микробов), или замороженной (обеспечение микробиологической безопасности) проводят такие страны как Бангладеш, Бразилия, Чили, Коста-Рика, Хорватия, Куба, Франция, Гана, Индия, Индонезия, Южная Африка, Южная Корея, Мексика, Нидерланды, Пакистан, Сирия, Таиланд, Великобритания и Вьетнам. Даже в Европейском Союзе, где основной вид продуктов, подвергаемый радиационной обработке, составляют специи, различные виды облученной рыбной продукции составили более 10% и порядка 1000 тонн [60].

Огромное значение имеет данная технология для нашей страны, т.к. задача решения указанных проблем стоит наиболее остро. Отмечается заметное отставание

в ее применении от других государств. Технические возможности РФ представлены всего лишь 19 ускорителями и 4 гамма-установками (большинство – устаревшие) в 17 городах. В 2014-2019 гг. введены в эксплуатацию 4 центра облучения (5 ускорителей): СФМ «Фарм», Новосибирск; ГК Росатом (АО «Стерион», Лыткарино); АО «Акселанс» (Ивановская обл.); ООО «Теклеор» – первый специализированный центр для обработки продовольственной продукции (Ворсино, Калужская обл.). В то же время, Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН – один из ведущих производителей электронных ускорителей в мире, активно поставляет их в Китай, Канаду, Бельгию, Вьетнам и др. страны, а АО «ВНИИ технической физики и автоматики» ГК «Росатом» успешно конкурирует на внутреннем и международном рынках гамма-установок.

На территории ЕАЭС требования к показателям безопасности и качества рыбы и рыбной продукции определяются в Технических регламентах «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2012 и «О безопасности рыбы и рыбной продукции» ТР ЕАЭС 040/2016. В настоящее время ведется масштабная работа по введению понятия «обработка ионизирующим излучением» в Технические регламенты и в Федеральный Закон №29. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2017 г. №990-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов» введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 февраля 2019 года. Введение нормативных документов, определяющих возможность радиационной обработки рыбной продукции в отечественную практику, предполагает активизацию интереса крупных рыбоперерабатывающих компаний к этой технологической отрасли. Участие в реализации этой технологии такой организации, как Росатом в лице АО «Русатом Хелскеа» и первого частного специализированного коммерческого Центра по антимикробной обработке – компании «Теклеор» открывает широкие перспективы для ее применения в рыбной отрасли. В настоящее время руководством компании прорабатываются вопросы по созданию аналогичного Центра в Дальневосточном регионе для решения задач, стоящих перед производителями рыбной продукции. Активизация научной общественности проявляется не только в участии многих отраслевых институтов в исследованиях возможностей радиационных технологий для пищевой промышленности, но и создании комплексного научно-технического проекта, объединяющего усилия как научных, так и коммерческих организаций для успешного внедрения этих технологий в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Martinez I., Olsen R. L., Nilsen H., and Sorensen K. Seafood: fulfilling market demands // Outlook Agric. 1997. №26. P.104-114
- Обзор по актуальным и проблемным вопросам реализации согласованной (скоординированной) агропромышленной политики. Москва. 2017г. 122 с.
- Obzor po aktual'nyh i problemnym voprosam realizacii soglasovannoj (skoordinirovannoj) agropromyshlennoj politiki. [Review of current and problematic issues in the implementation of a coherent (coordinated) agro industrial policy]. Moscow. 2017. 122 p.
- FAO, Reduction of wastage in fisheries, Infofish Int., Food and Agricultural Organization, Rome. 1997. №3. P.14-18.
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2017.220 с.
- O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federacii v 2016 godu: Gosudarstvennyj doklad. [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2016: State report] М.: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitel'j i blagopoluchiya cheloveka. [Federal service for supervision of consumer protection and human well-being] 2017. 220 p.
- Технология рыбы и рыбных продуктов: учеб. для вузов / В.В.Баранов [и др.]; под ред. А.М. Ершова. СПб.: Гиорд. 2006. 940 с.
- Tekhnologiya ryby i rybnih produktov: ucheb. dlya vuzov [Technology of fish and fish products: studies. for universities] / V.V.Baranov [i dr.] pod red. A.M.Ershova. SPb. Giord. 2006. 940 p.
- Микробиологическая порча пищевых продуктов / Под ред. К. де В. Блекберна; Пер. с англ. СПб.: Профессия. 2008. 784 с.
- Mikrobiologicheskaya porcha pishhevy' x produktov [Microbiological spoilage of food] / Pod red. K. de V. Blekberna; Per. s angl. – SPb.: Profession. 2008. 784 p
- Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераскина, Н.И. Санжаровой. Москва-Обнинск: ИНФОРМПЛИГРАФ. 2015. 400 с.
- Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. М.: Вест Мир. 2007. 21 с.
- Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti. [Radiation technologies in agriculture and food industry]; pod obshch. red. G.V. Koz'mina, S.A. Geras'kina, N.I. Sanzharovoj. Moskva-Obninsk: INFORMPOLIGRAF. - 2015. – 400 p
- Food irradiation research and technology / Edited by Christopher H. Sommers and Xuetong Fan. Oxford: Blackwell Publishing Professional. 2006. 317 p.
- WHO: Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food / Geneva: World Health Organization, 1994.
- FAO/IAEA Joint Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture // Food Irradiation Newsletter. Vienna: International Atomic Energy Agency, December 1996 (Supplement).
- Code of Good Irradiation Practice for the Control of Microflora in Fish, Frog Legs and Shrimps / Document №10 ICGFI. Vienna. 1991.
- Standard Guide for Irradiation of Finfish and Aquatic Invertebrates Used as Food to Control Pathogens and Spoilage Microorganisms // ASTM F1736. 2016. №09.
- Межгосударственный стандарт ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов». Москва. Стандартинформ. 2017. 14 с.
- Mezhhgosudarstvennyj standart GOST 34154-2017 "Rukovodstvo po oblucheniyu ryby i moreproduktov s celyu podavleniya patogennyh i vyzyvayushchih porchu mikroorganizmov". [Interstate standard GOST 34154-2017 "Guidelines for irradiation of fish and seafood in order to suppress pathogenic and spoilage -causing microorganisms"] Moskva. Standartinform. [Moscow. STANDARTINFORM.] 2017. 14 p.
- V. Venugopal, S. N. Doke & Paul Thomas Radiation Processing to Improve the Quality of Fishery Products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1999. Vol.39. №5. P.391-440
- Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Фролова Н.А., Полякова И.В., Губина О.А., Лауринавичюс К.С. Холодная пастеризация рыбной продукции, готовой к употреблению (рыбных пресервов) на различных радиационных установках // Рыбное хозяйство. 2019. №6 С. 109-115
- Kobyalko V.O., Saruhanov V.YA., Frolova N.A., Polyakova I.V., Gubina O.A., Laurinavichyus K.S. Holodnaya pasterizaciya rybnaj produkcii, gotovoj k upotrebleniyu (rybnih preservov) na razlichnyh radiacionnyh ustanovkah [Cold pasteurization of fish products ready for use (fish preserves) at various radiation installations] // Rybnoe hozyajstvo. [Fish farming]. 2019. №6. P. 109-115.
- Kamat A. and Thomas P. Radiation inactivation of foodborne pathogens in fish as influenced by fat levels // J. Appl. Microbiol. 1998. №84. P. 478-484.
- IAEA. Radiation Preservation of Fishery Products. Tech. Rep. Ser. 303. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1989.
- Кардашев А.В., Бобровская Н.Д., Головкова Г.Н., Гофтарш М.М., Бухтеев А.В. Облучение рыбы в условиях морского промысла // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). 1971.Т.79. С.138-145.

19. Kardashev A.V., Bobrovskaya N.D., Golovkova G.N., Gofarsh M.M., Buhteev A.V. Obluchenie ryby v usloviyah morskogo promysla [Fish Irradiation in marine fisheries] // Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta morskogo rybnogo hozyajstva i okeanografii (VNIRO). [Proceedings of the all-Union scientific research Institute of marine fisheries and Oceanography (VNIRO)]. 1971.Vol. 79. P. 138-145.
20. Cheour F. Gamma irradiation prolongs the sea bass (*Dicentrarchus labrax*L.) storage and delays the lipid membrane degradation // International Journal of Nutrition and Food Sciences. 2014. Vol.3 №4. P. 326-332.
21. Arvanitoyannis I. S., Stratakos A., Mente E. Impact of irradiation on fish and seafood shelf life: a comprehensive review of applications and irradiation detection // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009. Vol. 49. №1. P. 68-112.
22. Нехамкин Б. Л., Голенкова В. В., Сахно В. И. Технология низкотемпературной пастеризации пресервов // Новые направления в области традиционных технологий переработки рыбы: сб. науч. тр. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1996. Т. 2. С. 55-68.
22. Nekhamkin B. L., Golenkova V. V., Sahnno V. I. Tekhnologiya nizkoterperaturnoj pasterizacii preservov [Technology of low-temperature pasteurization of preserves]// Noveye napravleniya v oblasti tradicionnyh tekhnologij pererabotki ryby: sb. nauch. tr. Kaliningrad: Izd-vo AtlantNIRO, [New directions in the field of traditional technologies of fish processing: sat. nauch. tr. Kaliningrad: AtlantNIRO Publishing house]. 1996. Vol. 2. P. 55-68.
23. Oraei M., Motalebi A.A., Hoseini E., Javan S. Effect of Gamma irradiation and frozen storage on microbial quality of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet // Iranian Journal of Fisheries Sciences. 2010. Vol.10. №1. P. 75-84.
24. Sayed N., Alam Z., Khan M., Nilla S., Mustafa G. Biochemical Sensory and Chemical Changes at -20°C in Gamma Irradiated Two Types of Stinging Catfish, *Heteropneustes fossilis* // World Journal of Zoology. 2013. Vol. 8. №2. P. 225-233.
25. Лебская Т. К., Голембовская Н. В. Применение пиковолновой обработки для регулирования созревания и повышения безопасности пресервов из мяса карпа // Вестник АГТУ. Серия. Рыбное хозяйство. 2015. № 2. С. 116-122.
25. Lebskaya T. K., Golembovskaya N. V. Primenenie pikovolnoj obrabotki dlya regulirovaniya sozrevaniya i povysheniya bezopasnosti preservov iz myasa karpa [Application of peak-wave processing for regulating maturation and improving the safety of preserves from carp meat] // Vest-nik AGTU. Seriya. Rybnoe hozyajstvo. [Series. Fish industry]. 2015. № 2. P. 116-122
26. Mbarki R., Ben Miloud N., Selmi S., Dhib S., Sadok S. Effect of vacuum packaging and low-dose irradiation on the microbial, chemical and sensory characteristics of chub mackerel (*Scomber japonicus*) // Food Microbiology. 2009. Vol. 26. №8. P. 821-826.
27. Mahmoud B. S. Control of *Listeria monocytogenes* and spoilage bacteria on smoked salmon during storage at 5°C after X-ray irradiation // Food Microbiology. 2012. № 32. P. 317-320.
28. Savvaids I.N., Skandamis P., Riganakos K., Panagiotakis N., Kontominas M.G. Control of natural microbial flora and *Listeria monocytogenes* in vacuum packed trout at 4 and 10 oC using irradiation // J. Food Prot. 2002. №65. P. 515-522.
29. Kim H., Ha J.H., Lee J.W., Jo C., Ha S.D. Synergistic effect of ionizing radiation on chemical disinfectant treatments for reduction of natural microflora on seafood // Radiat. Phys. Chem. 2012. №81. P. 1091-1094.
30. Bhalala M.K. and Zofair S.M. Effect of gamma radiation on microbiological changes in dry salted ribbon fish (*Lepturacanthus savala*, *Cuvier*, 1829) // International Journal of Processing and Post Harvest Technology. 2015. Vol. 6. №1. P. 93-100.
31. Jo C., Lee W.D., Kim D.H., Kim J.H., Ahn H.J., Byun M.W. Quality attributes of low salt Changran Jeotkal (aged and seasoned intestine of Alaska Pollock, *Theragra chalcogramma*) developed using gamma irradiation // Food Control. 2004. №15. P. 435-440.
32. Surendra I.H.W., Edirisinghe E.M.R.K.B., Rathnayake R.M.N.P. Effect of Low-dose Gamma Irradiation on the Quality of Tilapia Fish Muscle with Storage at 0°C // American Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 6. №6. P. 237-246.
33. Liu M. S., Chen R. Y., Tsai M. J. and Yang J. S. Effect of gamma irradiation on the keeping quality and nutrients of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) stored at 1°C // J. Sci. Food Agric. 1991. №57. P. 553-563.
34. Antunes S.A. and Novak A. Radiolysis of tryptophan in *Penaeus setiferus* // Food Preservation by Irradiation: Proc. of Symposium at Wageningen. – Vienna: International Atomic Energy Agency. 1977. P. 397-403.
35. Underal B., Nordal J., Lunde G. and Eggum, B. The effect of ionizing radiation on the nutritional value of fish (cod) protein // Lebensm. wiss. u. Technol. 1973. №6. P. 90-93.
36. Lagunas-Solar M.C. Radiation processing of foods: an overview of scientific principles and current status // J. Food Prot.1995. №58. P.186-192.
37. Haard N.F. Biochemistry and chemistry of color and color changes in seafoods / Seafood Biochemistry, Composition and Quality; Eds. Martin R., Ory R. and Flick G. – Technomic, Lancaster, PA, 1992. P. 137-146.
38. Olson D. G. Irradiation of food // Food Technol.1998. Vol. 52. №1. P. 56-62.
39. Moini S., R. Tahergorabi S. V., Hosseini M., Rabbani Z., Tahergorabi X. Fea 's and Aflaki F. Effect of gamma radiation on the quality and shelf life of refrigerated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets // J. Food Prot. 2009. №72. P.1419-1426.
40. Yang Z., Wanga H., Wanga W., Qi W., Yue L. and Qingfu Y. Effect of 10 MeV E-beam irradiation combined with vacuum-packaging on the shelf life of Atlantic salmon fillets during storage at 4 0C // Food Chemistry. 2014. №145. P. 535-541.
41. Adam S., Paul G. and Ehlermann D. Influence of ionizing radiation on the fatty acid composition of herring fillets // Radiat. Phys. Chem. 1982. №20. P. 289-295.
42. Reale A., Sorrentino E., Iaffaldano N., Rosato M., Ragni P., Coppola R., Capitani D. P., Sobolev A., Tremonte P., Succi M. and Mannina L. Effects of ionizing radiation and modified atmosphere packaging on the shelf life of aqua-cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2008. №24. P. 2757-2765.
43. Principe F., Perez M., Croci C. Stability of lipids and fatty acids in frozen and gamma irradiated Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) from the Southwestern Atlantic // LWT-Food Science and Technology.2009. №42. P. 1308-1311.
44. Javan S. and Motalebi A.A. Changes of Fatty Acid Profile During Gamma Irradiation of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fillets // International Journal of Meat Science. – 2015. Vol. 5. №1. P. 1-7.
45. Armstrong S.G., Wyllie S.G., and Leach D.N. Effects of preservation by gamma-irradiation on the nutritional quality of Australian fish // Food Chem. 1994. №50. P. 351-357.
46. Hau L-B. and Liew M.S. Effects of gamma irradiation and cooking on vitamin B6 and B12 in grass prawns (*Penaeus monodon*) // Rad. Phys. Chem. 1993. №42. P. 297-300.
47. Lee K.F. and Hau L-B. Effect of gamma irradiation and post-irradiation cooking on thiamin, riboflavin and niacin contents of grass prawns (*Penaeus monodon*) // Food Chem. 1996. №78. P. 379-382.
48. Subasinghe S. Handling and marketing of aquaculture products // Infofish Int. 1996. №3. P. 45-51.
49. Pearson A.M. and Monahan F.J. Flavor and aroma problems and their measurement in meat, poultry and fish products // Quality Attributes and Their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products. New York: Chapman & Hall, 1994.P.250-288.
50. Yang J-S. and Perng F-S. Effect of gamma irradiation on the distribution of calcium ions in grass shrimp (*Penaeus monodon* F.) muscle // Meat Sci. 1995. №39. P.1-7.
51. Diehl J.F. Safety of Irradiated Foods. – New York: Marcel Dekker, 1995.P. 173-223.
52. Thayer D.W. Wholesomeness of irradiated foods // Food Technol. 1994. Vol. 48. №5. P.132-136.
53. Farkas J. Microbiological safety of irradiated foods // Int. J. Food Microbiol. 1989. №9. P.1-15.
54. Ahmed, M., Karim, A., Quaiyum, M. A. Bhuiya A. D., Matin, M. A., Siddiqui, A. K., and Hossain, M. M., Economic feasibility studies on radiation preservation of dried and cured fishery products, onion and potatos. Radiation Preservation of Fishery Products, Tech. Rep. Ser. 303, International Atomic Energy Agency, Rome. 1989. P.29-75
55. Loaharanu, P., Food Irradiation: current status and future prospects. In: Gould, G. W., Ed., New Methods of Food Preservation, Blackie Academic & Professional, London, 1995. P.90-111.
56. Codex General Standards for Irradiated Foods and a Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods (CAC/Vol.1XV.Ed.1), FAO/Rome, 1984
57. Ladomery, L. G., Harmonization of Regulations on Food Irradiation in Asia and the Pacific, International Atomic Energy Agency, Vienna. 1993. P. 6-66.
58. McKinley, R. C., Report on the activity of the International Consultative Group on Food Irradiation, Rad. Phys. Chem. 1995. №46. P. 745-747.
59. Ioannis S. Arvanitoyannis, Alexandros Stratakos & Elena Mente. Impact of Irradiation on Fish and Seafood Shelf Life: A Comprehensive Review of Applications and Irradiation Detection //Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2008. Vol.49. №1. P. 68-112
60. Report from the commission to the european parliament and the council on food and food ingredients treated with ionising radiation for the year 2015. Brussels, COM (2016) 738 final