

УДК 664.951:658.562.012.7

Обоснование критерия безопасности рыбного сырья с использованием метода пищевой комбинаторики

Л.С. Абрамова^{1,2}, Л.Р. Копыленко¹, Т.Е. Рубцова¹, А.Л. Погребисская³, А.В. Козин¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва)

²Российский университет дружбы народов (РУДН, г. Москва)

³Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет, г. Москва)
e-mail: abramova@vniro.ru

С целью научного обоснования критерия безопасности рыбного сырья с использованием метода пищевой комбинаторики в лаборатории «ВНИРО-ТЕСТ» по заказу Росрыболовства проводится государственный мониторинг водных биоресурсов и среды их обитания по регламентируемым показателям безопасности. В качестве объектов исследований были выбраны: килька (Северный, Западный, Каспийский бассейны), сельдь (Северный, Западный, Дальневосточный бассейны) и треска (Северный, Западный бассейны), выловленные в 2001–2011 гг. Для определения токсичных элементов и хлорорганических пестицидов использовали современные аналитические методы исследований и современное оборудование. Достоверность экспериментальных данных оценивали общепринятыми методами математической статистики с использованием компьютерных программ. Были выявлены минимальные и максимальные значения критерия безопасности для кильки, трески и сельди из различных бассейнов промысла. Так, для кильки, выловленной в Северном бассейне, минимальное значение критерия безопасности составляет 74,9; максимальное — 87,4; среднее значение (за весь период мониторинга) — 81,2. На основании результатов исследований были рассчитаны критерии безопасности и их пределы для этих трёх объектов. Критерий безопасности объектов промысла может носить регулирующий характер. Так, зная бассейн вылова исследуемого объекта, величину критерия безопасности и расчётное «текущее» его значение, можно сделать вывод об экологической ситуации в бассейне и уровне показателей безопасности объектов промысла. Предложенный подход позволит давать сравнительную оценку безопасности водных объектов промысла из различных бассейнов и охарактеризовать район вылова. Данные критерия безопасности конкретного водного биологического объекта могут быть использованы для обоснования рекомендаций по регулированию промысла и рациональному использованию сырья. Работа содержит рекомендации по оценке рыбного сырья на основе рассчитанных данных критерия безопасности.

Ключевые слова: показатели безопасности, водные биологические ресурсы, метод пищевой комбинаторики, критерий безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

Государственный мониторинг водных биоресурсов и среды их обитания проводится Росрыболовством для организации рационального использования и сохранения водных био-

ресурсов, разрешения споров в области рыболовства, обеспечения качества и безопасности водных биоресурсов и продукции из них.

Порядок осуществления государственного мониторинга водных биоресурсов и при-

менения его данных устанавливается Правительством Российской Федерации согласно пункту 5 статьи 42 Федерального закона от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов». Информация о состоянии водных биологических ресурсов, среды их обитания и о безопасности продуктов переработки водных биологических ресурсов передаётся в виде форм, содержащих следующие показатели безопасности:

- содержание токсичных элементов (кадмий, ртуть, свинец и мышьяк);
- содержание нитрозаминов;
- содержание хлорорганических пестицидов;
- содержание полихлорированных бифенилов;
- содержание радионуклидов (цезий и стронций);
- содержание регламентируемых паразитов и их личинок.

Результаты исследований по изучению влияния ряда токсикантов водной среды на биохимический статус различных водных организмов были использованы для оценки экологического состояния водоёмов и прогноза возможных изменений в биосистеме водоёмов [Mottier et al., 2015; Omar et al., 2014; Sarone et al., 2016]. Установление критериев идентификации районов промысла на основе количественного содержания приоритетных токсикантов были предложены [Стрыгина и др., 2013] на основании мониторинговых исследований водных биологических ресурсов.

Однако большой массив данных показателей безопасности зачастую не позволяет дать объективную характеристику изменения этих показателей водного биологического объекта и продукции, получаемой на его основе, в зависимости от времени, сезона, при возникновении тех или иных чрезвычайных ситуаций.

С этой точки зрения значительный интерес может представлять единый комплексный показатель безопасности, или критерий безопасности, который учитывал бы одновременно все регламентируемые показатели безопасности.

Известны методы пищевой комбинаторики, позволяющие с помощью обобщённой математической модели провести анализ и дать харак-

теристику адекватности набора и количества отдельных компонентов выбираемому эталону [Липатов, Башкиров, 2002]. В результате математической обработки получается показатель, который позволяет дать оценку данному объекту, сравнить данные в зависимости от влияния различных факторов.

В связи с этим целью данной работы было научное обоснование критерия безопасности рыбного сырья с использованием метода пищевой комбинаторики.

Достижение поставленной цели позволит получить достоверную информацию о фактическом состоянии водных биологических ресурсов, выявить возможные причины и источники загрязнения как сырья, так и продукции его переработки в случае его значительных изменений, принять необходимые меры для разработки соответствующих действенных профилактических мероприятий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для исследований использовали данные мониторинга рыбного сырья различных бассейнов, выловленного в 2001–2011 гг. Результаты испытаний рыбного сырья за десять лет выполнены и обобщены в лаборатории «ВНИРО-ТЕСТ».

Хлорорганические пестициды ДДТ, ДДД, ДДЭ, изомеры (α -, β -, γ -) ГХЦГ определяли на газовом хроматографе модели HRGC Mega 5300 (Carlo Erba, Италия) с электронно-захватным детектором по МУ 2482–81, МУ 3151–84.

Определение токсичных элементов (свинца, мышьяка и кадмия) проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6701 (Shimadzu, Япония), ртуть анализировали на ртутном анализаторе (NIC Corporation, Япония) согласно ГОСТ 26929–94, ГОСТ 30178–96, ГОСТ 26930–86, ГОСТ 26927–86.

Расчёт критерия безопасности для конкретного вида рыбного сырья проводили по показателям безопасности с использованием метода пищевой комбинаторики по обобщённой модели, предусматривающей анализ количественного содержания каждого контаминанта в сырье.

В качестве необходимых показателей, позволяющих учесть и рассчитать содержание

контаминантов в сырье относительно эталонных значений, использовали приведенные ниже основополагающие показатели, спроектированные академиком РАСХН И.А. Роговым и Н.Н. Липатовым [Липатов, Рогов, 1987; Липатов, Башкиров, 2002] для оценки биологической ценности белковых компонентов сырья, которые были адаптированы по смысловому содержанию для решения наших задач.

Критерий безопасности σ , характеризующий суммарную массовую долю контаминантов в сырье по отношению к комплексу нормируемых показателей для 1 кг эталонного продукта рассчитывался по формуле:

$$\sigma = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j - A_{\min} A_{эj})}{C_{\min}},$$

где: C_{\min} — минимальный скор контаминанта по отношению к норме (эталону), дол. ед.; A_j — массовая доля контаминанта в исследуемом объекте, мг/1 кг сырья; $A_{эj}$ — массовая доля контаминанта, соответствующая предельно допустимой норме (эталону), мг/1 кг сырья.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Научное обоснование и математический расчёт критерия безопасности является актуальным для усовершенствования существующей системы проведения государственного мониторинга, так как на основании разработанных критериев могут быть охарактеризованы как объекты, так и районы промысла. В соответствии с полученными характеристиками можно проводить регулирование промысла, особенно в части создания условий для сохранения водных биологических ресурсов.

Обработка массива данных регламентируемых показателей безопасности водных биологических ресурсов и выявление критерия безопасности с применением метода пищевой комбинаторики включала в себя следующие стадии:

— анализ формализованного банка данных показателей безопасности водных биологических ресурсов с учётом видовой принадлежности и районов промысла, накопленного ФГУП «ВНИРО» за десятилетний период, с целью выявления наиболее значимых контаминантов в объектах промысла;

— расчёт критериев безопасности по выявленным значимым контаминантам с использованием заявленного метода;

— определение пределов значений критериев безопасности для объектов промысла.

В соответствии с международными требованиями, разработанными объединённой комиссией ФАО/ВОЗ, необходим контроль за содержанием в пищевых продуктах шести контаминантов: ртути, кадмия, свинца и мышьяка, ДДТ и ГХЦГ. Важно отметить, что к числу важнейших существенных факторов загрязнения природных водоёмов и объектов промысла относят и хлорорганические пестициды, которые в соответствии со Стокгольмской конвенцией внесены в список так называемой «грязной дюжины», то есть особых загрязнителей, обладающих выраженными токсическими свойствами, персистентностью (устойчивостью к внешним воздействиям), способностью к биоаккумуляции и биоконцентрированию [Майстренко, Ключев, 2004]. Сопоставительный анализ массива данных показателей безопасности объектов промысла позволил выделить тяжёлые металлы (As, Cd, Hg, Pb) и пестициды (ДДТ и его метаболиты, сумма ГХЦГ) в качестве показательных контаминантов, учёт количественного содержания которых в исследуемых видах рыбного сырья должен лечь в основу расчёта критерия безопасности этих объектов.

В качестве объектов исследований, которые позволяют выявить изменение уровня нормируемых контаминантов в зависимости от бассейна промысла, были выбраны: килька (Северный, Западный, Каспийский бассейны), сельдь (Северный, Западный, Дальневосточный бассейны) и треска (Северный, Западный бассейны). Добыча данных видов рыбного сырья в нескольких бассейнах позволяет провести сравнительные исследования их показателей безопасности и дать объективную оценку.

Расчёт критериев безопасности для выбранных объектов промысла проводился относительно эталонных значений — предельно допустимых уровней нормируемых показателей безопасности (контаминантов), регламентируемых «Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемио-

логическому надзору (контролю)» и СанПиН 2.3.2.1078–01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» для морских рыб, приведённых в табл. 1.

Расчёт критерия безопасности объектов промысла, который может использоваться для характеристики объекта, целесообразен при наличии данных более чем по одному приоритетному контаминанту.

По приведённой формуле для каждого вида рыбного сырья с учётом года и бассейна промысла критерий безопасности был рассчитан двумя способами. Первый способ подразумевал расчёт данного показателя с учётом содержания исключительно пестицидов (2 элемента), второй — пестицидов (2 элемента) и тяжёлых металлов (4 элемента) — «общее содержание». Это было сделано с целью выявления одного из двух способов расчёта в качестве оптимального.

В результате вычислений были выявлены средние значения критерия безопасности для каждого из трёх исследуемых объектов в зависимости от бассейна промысла. При анализе полученных данных расчёта значений критерия безопасности с учётом содержания только пестицидов были получены данные, что самыми безопасными являются треска и килька, выловленные в Западном бассейне, и сельдь Дальневосточного бассейна. Но при комплексном расчёте показателя, с учётом содержания тяжёлых металлов и пестицидов, ситуация выглядит иначе. Так, лидирующее положение по превышению показателей безопасности занимают килька и треска, добытые в Северном бассейне, а сельдь — в Западном бассейне. Полученные данные позволяют рекомендовать расчёт критерия безопасности, исходя из комплекса данных о содержании контаминантов в объектах (по всем шести показателям), как наиболее объективный,

Таблица 1. Эталонные значения нормируемых контаминантов

Наименование продукции	Показатели	Допустимые уровни, мг/кг, не более
Рыба живая, рыба-сырец, охлаждённая, мороженая, фарш, филе, мясо морских млекопитающих	<i>Токсичные элементы</i>	
	Свинец	1,0
	Мышьяк	5,0 (морская)
	Кадмий	0,2
	Ртуть	0,5
	<i>Пестициды**</i>	
	ГХЦГ (α -, β -, γ -изомеры)	0,2
	ДДТ и его метаболиты	0,2

Таблица 2. Расчётные значения критерия безопасности для сырья различных районов промысла

Наименование исследуемых объектов	Наименование бассейна промысла	Показатель сопоставимой избыточности, σ		
		среднее	min	max
Килька	Северный	81,2	74,9	87,4
	Западный	45,5	38,2	52,7
	Каспийский	22,7	19,6	25,7
Сельдь	Северный	19,7	18,2	21,2
	Западный	36,8	21,9	51,7
	Дальневосточный	29,4	21,4	37,3
Треска	Северный	147,3	103,5	191,1
	Западный	37,5	22,9	52,1

учитывающий общее состояние исследуемого объекта.

Исходя из того что все значения содержания контаминантов в исследуемых объектах промысла были ниже регламентируемых предельно допустимых, можно сделать вывод, что чем больше расчётное значение критерия безопасности, тем безопаснее сырьё.

Из рассчитанных данных были выявлены минимальные и максимальные значения критерия безопасности для трёх выделенных видов исследуемых объектов в рамках каждого бассейна, они приведены в табл. 2.

Так, например, для кильки, выловленной в Северном бассейне, минимальное значение критерия безопасности составляет 74,9; максимальное — 87,4; среднее значение (за весь период мониторинга) — 81,2.

Чтобы учесть рамки числового интервала значений критерия безопасности, были проведены расчёты $-\delta$ и $+\delta$, характеризующие процентное значение отклонения величин минимального ($-\delta$) и максимального ($+\delta$) значений критерия безопасности относительно средней величины. Полученные данные для трёх исследуемых видов сырья для каждого бассейна приведены в табл. 3.

Полученные числовые данные были обработаны, на основании чего был составлен рейтинг безопасности для трёх видов объектов

с привязкой к бассейнам промысла, он приведён в табл. 4.

Таким образом, были определены критерии безопасности и их пределы для кильки, трески и сельди различных бассейнов промысла (табл. 3).

Критерий безопасности объектов промысла может носить регулирующий характер. Так, зная бассейн вылова исследуемого объекта, величину критерия безопасности и его расчётное «текущее» значение, можно сделать вывод об экологической ситуации в бассейне и уровне показателей безопасности объектов промысла.

Промысел может быть скорректирован следующим образом:

— если расчётный критерий безопасности остался прежним или его значение увеличилось для исследуемого объекта в установленном бассейне промысла, то ситуация считается благоприятной, и промысел может осуществляться в стандартном режиме;

— в случае если значение расчётного критерия безопасности уменьшилось на 40% от заданного среднего значения, то ситуация рассматривается как пограничная, подразумевающая проведение мероприятий, направленных на выявление источников контаминации среды обитания водных биологических ресурсов (данный фактор повышенного содержания контаминантов в объектах непременно учиты-

Таблица 3. Интервалы критерия безопасности для кильки, трески и сельди различных районов промысла

Наименование исследуемых объектов	Значение критерия безопасности и его интервалы для районов промысла			
	Северный	Западный	Каспийский	Дальневосточный
Килька	75–87	38–53	20–26	—
Треска	104–191	23–52	—	—
Сельдь	18–21	22–52	—	21–37

Таблица 4. Рейтинг исследуемых объектов промысла по критерию безопасности

Наименование исследуемых объектов	Рейтинг объектов по бассейнам (от лучшего к худшему)			
	Северный	Западный	Каспийский	Дальневосточный
Килька	1	2	3	—
Треска	1	2	—	—
Сельдь	3	1	—	2

Примечание. 1 — самый безопасный бассейн, 2 — средний, 3 — худший.

вается при дальнейшей технологической обработке сырья).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход по обоснованию критериев безопасности и их пределов для кильки, трески и сельди различных бассейнов промысла позволит давать сравнительную оценку безопасности водных объектов промысла из различных бассейнов и характеризовать район вылова. Данные критерия безопасности конкретного водного биологического объекта могут быть использованы для обоснования рекомендаций по регулированию промысла и рациональному использованию сырья.

ЛИТЕРАТУРА

- Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утверждённые решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299.
- Липатов Н.Н., Rogov I.A. 1987. Методология проектирования продуктов питания с требуемым количеством показателей пищевой ценности // Известия вузов. Пищевые технологии. № 2. С. 9–15.
- Липатов Н.Н., Башкиров О.И. 2002. Организмические подходы к формированию интегральных критериев оценки объектов пищевых производств // Труды научно-практической конференции «Технологические аспекты комплексной переработки сельскохозяйственного сырья при производстве экологически безопасных пищевых продуктов общего и специального назначения по направлению «Пищевые технологии будущего. Гипотезы. Теория. Эксперимент». Углич: Россельхозакадемия. С. 308–316.
- Майстренко В.Н., Ключев Н.А. 2004. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнений. М.: Бином. Лаборатория знаний. 327 с.
- Павлова Л.Г. 1992. К вопросу об экологическом нормировании химических загрязняющих веществ, самоочищении и вторичном загрязнении северных морей // Теоретические подходы к изучению экосистем морей Арктики и Субарктики. Апатиты. С. 90–100.
- Стрыгина О.А., Шендерюк В.В., Дубова О.А., Бахолдина Л.П., Чернышева Н.А. 2013. Установление критериев идентификации районов промысла по загрязнению водных биологических ресурсов контаминантами различной природы // Известия Калининградского государственного технического университета. № 81. С. 44–48.

- Mottier A., Séguin A., Devos A., Pabic C.L., Voiseux C., Lebel J.M., Serpentine A., Fievet B., Costil K. 2015. Effects of subchronic exposure to glyphosate in juvenile oysters (*Crassostrea gigas*): From molecular to individual levels // Marine Pollution Bulletin. V. 95. № 2. P. 665–677.
- Omar W.A., Saleh Y.S., Marie M.A. 2014. Integrating multiple fish biomarkers and risk assessment as indicators of metal pollution along the Red Sea coast of Hodeida, Yemen Republic // Ecotoxicology and Environmental Safety. V. 110. P. 221–231.
- Sapone A., Canistro D., Vivarelli F., Paolini M. 2016. Perturbation of xenobiotic metabolism in *Dreissena polymorpha* model exposed *in situ* to surface water (Lake Trasimene) purified with various disinfectants // Chemosphere. V. 144. P. 548–554.

REFERENCES

- Edinye sanitarno-epidemiologicheskie i gigienicheskie trebovaniya k tovaram, podlezhashchim sanitarno-epidemiologicheskomu nadzoru (kontrolyu) [Uniform sanitary and epidemiological and hygienic requirements for goods subject to sanitary and epidemiological supervision (control)], utverzhdenyye resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 28 maya 2010 g. № 299.
- Lipatov N.N., Rogov I.A. 1987. Metodologiya proektirovaniya produktov pitaniya s trebuemym kolichestvom pokazatelej pishchevoj tsennosti [The methodology of design of food with the required number of indicators of food value] // Izvestiya vuzov. Pishchevyte tekhnologii. № 2. S. 9–15.
- Lipatov N.N., Bashkirov O.I. 2002. Organizmicheskie podhody k formirovaniyu integral'nykh kriteriev otsenki ob'ektov pishchevykh proizvodstv [Organismic approaches to the formation of integrated criteria for the evaluation of facilities for food production] // Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnologicheskie aspekty kompleksnoj pererabotki sel'skokhozyajstvennogo syr'ya pri proizvodstve ekologicheskii bezopasnykh pishchevykh produktov obshchego i spetsial'nogo naznacheniya po napravleniyu «Pishchevyte tekhnologii budushchego. Gipotezy. Teoriya. Eksperiment». Uglich: Rossel'khozakademiya. S. 308–316.
- Majstrenko V.N., Klyuev N.A. 2004. Ekologo-analiticheskij monitoring stojkih organicheskikh zagryaznenij [Ecological-analytical monitoring of persistent organic pollutants]. M.: Binom. Laboratoriya znaniy. S. 327.
- Pavlova L.G. 1992. K voprosu ob ekologicheskom normirovanii khimicheskikh zagryaznyayushchih veshchestv, samoochishchenii i vtorichnom zagryaznenii severnykh morej. Teoreticheskie podhody k izucheniyu ekosistem morej Arktiki i Subarkтики [To the question

about the environmental regulation of chemical contaminants, self-purification and the secondary pollution of the Northern seas. Theoretical approaches to the study of the ecosystems of the seas of the Arctic and subarctic]. Apatity. S. 90–100.

Strygina O.A., Shenderyuk V.V., Dubova O.L., Baholdina L.P., Chernysheva N.L. 2013. Ustanovlenie kriteriev identifikatsii rajonov promysla po zagryazneniyu vodnyh biologicheskikh resursov

kontaminantami razlichnoj prirody [Establishing criteria for the identification of fishing areas on the pollution of water biological resources by the contaminants of different nature] // *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. № 81. S. 44–48.

*Поступила в редакцию 02.06.15 г.
Принята после рецензии 20.08.15 г.*

The substantiation of safety criterion of fish raw material using a method of food combinatorics

L. Abramova^{1,2}, L. Kopylenko¹, T. Rubtsova¹, A. Pogrebisskaya³, A. Kozin¹

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO», Moscow)

²Peoples' Friendship University of Russia (Moscow)

³Moscow Aviation Institute (National Research University, Moscow)

Rosrybolovstvo carries out the state monitoring of aquatic biological resources and their habitats based on regulated indicators of safety. The aim of work is the scientific grounds of safety of fish raw material using the method of food combinatorics. The following species were chosen as object of research: sprat (Northern, Western, Caspian basins), herring (Northern, Western, Far East basins) and cod (North, West Basin), caught in 2001–2011. The tests were performed in the laboratory «VNIRO-TEST». Modern research analytical methods and modern equipment were used for the determination of toxic elements and organochlorine pesticides. The reliability of experimental data was evaluated with adopted methods of mathematical statistics with use of the computer programs. The minimum and maximum values of safety criterion have been identified for sprat, cod and herring from different basins. For example, the minimum of safety criterion for sprat caught in the Northern Basin, is 74.9, the maximum is 87.4, the average value (over the entire monitoring period) is 81.2. The safety criteria and their limits for these objects were designed on the base of the research results. Safety criterion of the fishery may be of regulatory nature. Thus, knowing the catch basin of the object, the value of safety criterion and its designed «current» value, there can be made the conclusion about the environmental situation in the basin and the safety level of the target species. The proposed approach enables to make a comparative evaluation of safety of the fisheries objects from different basins and characterize the area of catch. These criteria of security data of aqueous biological object can be used to justify recommendations for the regulation of fisheries and sustainable use of raw materials. The paper contains recommendations for the assessment of fish raw material on the basis of calculated data of safety criterion.

Key words: safety indicators, aquatic biological resources, method of food combinatorics, safety criterion.