

Комплексный анализ эффективности хранения копченых рыбопродуктов, полученных в установке барабанного типа с наложением электростатического поля

Журавлев Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

E-mail: alexjav2@mail.ru

Шахов Сергей Васильевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

E-mail: s_shahov@mail.ru

Сухарев Игорь Николаевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

E-mail: suharev@yandex.ru

Шубкин Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет

инженерных технологий»

Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

E-mail: shubkin.92@mail.ru

В настоящее время устойчивым спросом пользуются рыбные снеки, представленные нарезанными соломкой кусочками мышечной ткани рыбы, обработанные копильными компонентами. Копченые рыбные снеки представляют собой натуральные концентраты полноценного рыбного белка, законсервированного обезвоживанием и органическими компонентами дыма – фенольными, карбонильными и кислотными соединениями. Обработка копильными компонентами позволяет маскировать природные недостатки высушенной мышечной ткани таких прудовых рыб, как толстолобик, мясо которых имеет специфический запах. Копчение придает готовому продукту привлекательные гастрономические свойства, повышает его пищевые достоинства. Приведены данные по совершенствованию традиционного процесса копчения мелкокусковых рыбопродуктов путем направленного осаждения органических компонентов дыма под действием электростатического поля, осуществляемого в композиции с постоянным перемешиванием рыбного полуфабриката, нарезанного соломкой. Предложенное решение позволяет интенсифицировать процесс, снизить потери дымовоздушной среды в атмосферу, повысить экологичность и управляемость копчением, получить органолептически привлекательную рыбную продукцию повышенной стойкости при хранении. В ходе лабораторных исследований была проведена комплексная оценка эффективности насыщения мелко нарезанных рыбопродуктов копильными ингредиентами путем выявления в них наличия ароматических компонентов дыма, блокирующих рост микроорганизмов. Равномерное распределение ароматических компонентов дыма в рыбных снеках позволяет сократить рост числа патогенных микроорганизмов при их хранении. Для определения характера изменений, происходящих с копчеными рыбными снеками в процессе хранения, осуществляли высокочувствительное детектирование, применяя анализатор газов с методологией «электронный нос». Установлено, что пробы, полученные в установке барабанного типа с наложением электростатического поля, имеют более стабильные показатели при хранении и портятся в тех же условиях менее интенсивно, чем пробы, копченые традиционным способом. В течение 14 суток хранения не наблюдалось глубокой деструкции и разложения мышечной ткани, мелко нарезанного копченого мяса толстолобика, полученного по инновационной технологии, что доказывает эффективность предлагаемого режима копчения.

Ключевые слова: эффективность копчения, рыбопродукты, контроль, «электронный нос», хранимостпособность, электростатическое копчение, режим постоянного перемешивания

Введение

В настоящее время на отечественном рынке представлен довольно обширный перечень копченых изделий из рыбных продуктов от разных фирм. Практически все виды рыб пригодны для копчения. За последние пять лет производство копченых изделий из рыбопродуктов возросло практически в два раза. Производство ведется в основном на Дальнем Востоке и в Северо-Западном федеральном округе. В связи с увеличением пользования прудовым хозяйством и развитием аквакультурных ферм стал наблюдаться рост активности производства и в других регионах Российской Федерации. Особую популярность в последние годы получили рыбные закуски (снеки), а лидирующую позицию в рейтинге наиболее потребляемых товаров данного сектора занимает рыбная соломка (Бубырь, 2019; Голубева, Белоусова, Булганина, & Большакова, 2019). Данный продукт обладает невысокой калорийностью, полезен для человеческого организма, содержит такие элементы как кальций, фосфор, фтор, необходимые для полноценной жизнедеятельности и функционирования (Зотова, 2017; Мезенова, 2017; Slizyte et al., 2016).

В странах Западной Европы активно применяется электростатическое копчение, позволяющее значительно ускорить процесс насыщения продуктов ароматическими компонентами дыма. При копчении в электростатическом поле высокого напряжения процесс проникновения копильных веществ по своей природе близок к традиционному способу копчения, но за счет ионизации компоненты дымовоздушной смеси бомбардируют поверхность продукта и продолжительность копчения сокращается с нескольких суток (традиционное копчение) до одного часа (Антипова, Дворянинова, & Соколов, 2016; Нилова, & Малютенкова, 2018; Ferey et al., 2013). Кроме того, электрическое поле и ионизированная среда оказывают губительное действие на кишечную палочку *E. coli*. Эффективность воздействия повышается с увеличением времени обработки: через 3 мин погибает 63,5%, через 10 мин – 68,3%, через 45 мин – 75,4% микроорганизмов. После 55-минутной обработки все микроорганизмы, как и предусмотрено ветеринарно-санитарными требованиями, уничтожаются (Белковский, 2017; Буторин, Селунский, & Ябыков, 2017).

Завершающим этапом процесса копчения является термическая обработка. Основная задача данной обработки – придание продукту определенных потребительских свойств, фиксации формы, доведение до полной кулинарной готовности и уничтожение всей вегетативной микрофлоры. Продукт,

насыщенный копильными компонентами дыма в электростатическом поле, приобретает органолептические характеристики, присущие данному способу копчения, становится более хранимостпособным и устойчивым к плесневению (Ловкис, & Бубырь, 2018; Мезенова и др., 2019).

С помощью применения экспериментально-статистического были найдены оптимальные параметры копчения в электростатическом поле, позволяющие получить готовый продукт высокого качества при заданных параметрах. Температурный диапазон в дымогенераторе – 430...600 К; напряженность электростатического поля – 35...95 кВ/м; частота вращения камеры – 1,5...12 мин⁻¹; температура копильной смеси – 290...320 К; скорость копильной смеси – 0,15...1,6 м/с; относительная влажность – 50...90% (Тюпаков & Акимов, 2019; Rohlman et al., 2016; Yusuf et al., 2015).

Подавление микрофлоры вызвано фенольными и кислотными компонентами копильного дыма, что приводит к существенному продлению сроков хранения готового изделия, варьируя при этом параметры естественных реакций старения, порчи (Шкуратов, Васильева, & Шокина 2017; Ramakrishnan, Ghaly, Brooks, Budge, 2013). Установление особенностей изменения готового изделия при хранении, уточнение продолжительности сроков хранимостпособности готового изделия, а также описание влияния способа термической обработки на рыбное сырье важно как с точки зрения разработки новых технологий переработки сырья, так и безопасности (Zastrow, Schwind, Schwägele, Speer, 2019; Kiralan, 2020).

Применение современных методов анализа для решения задач такого рода требует проведения многостадийной пробоподготовки и большой по массе пробы закладки на хранение, времени, ресурсов. Следует отметить, что незначительные изменения в пробе, накопление деструктивных веществ – маркеров порчи, можно надежно зафиксировать, анализируя характер изменения состава легколетучих соединений пробы, детектируемых химическими высокочувствительными газовыми сенсорами (Павловская & Гапеева 2018; Kazerouni, Sinha, Hsu, Greenberg, & Rothman, 2018; Montazeri, Oliveira, Himelbloom, Leigh, & Craspo, 2013).

Цель исследования – изучить стабильность при хранении копченых рыбопродуктов с применением анализатора газов и методологии «электронный нос», а также оценить эффективность термообработки рыбопродуктов в установке барабанного типа с наложением электростатического поля.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований и изучения процесса насыщения ароматическими компонентами дыма мелко нарезанных рыбопродуктов под действием электростатического поля в сочета-

нии с режимом постоянного перемешивания была смоделирована, а затем смонтирована в условиях промышленного предприятия г. Воронежа экспериментальная установка электростатического копчения барабанного типа, общий вид модели которой представлен на Рисунке 1.

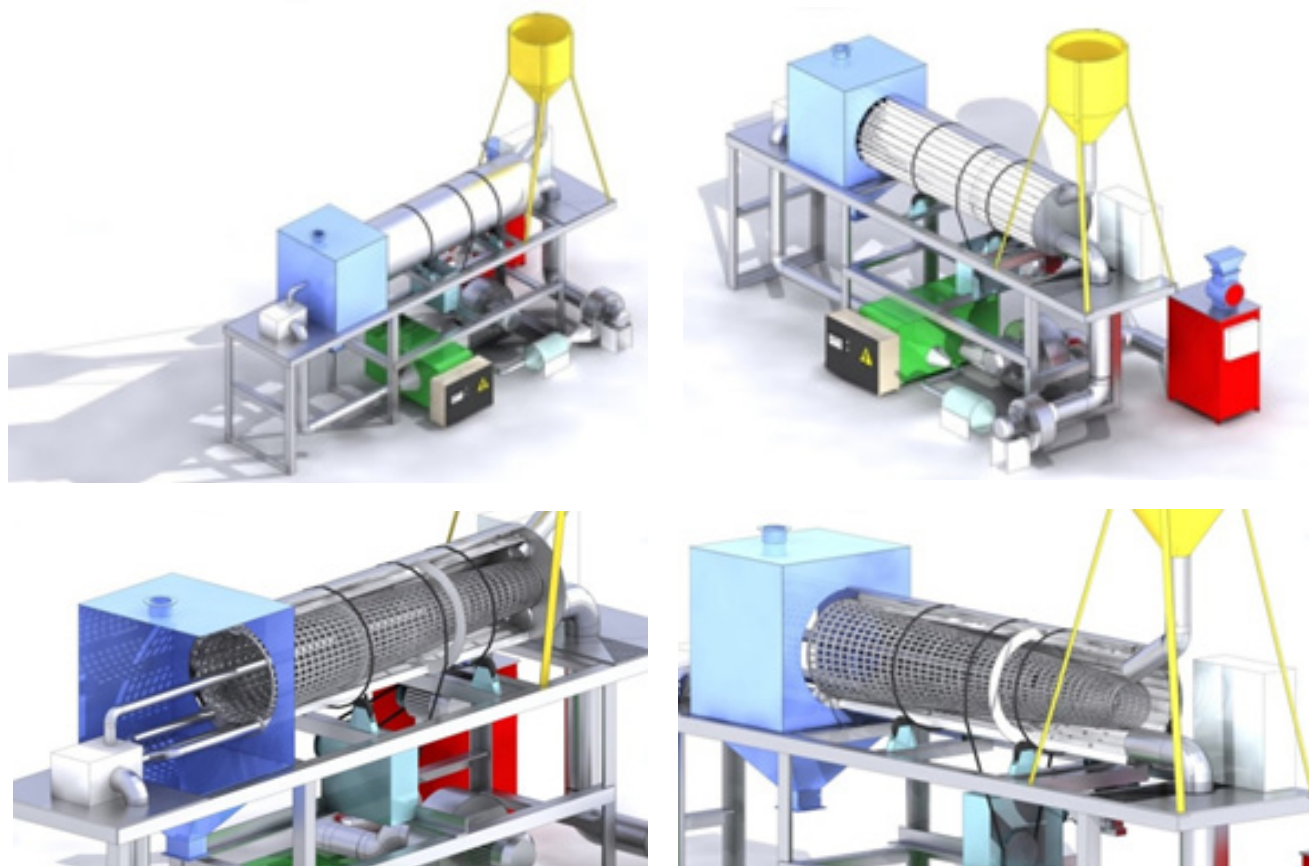


Рисунок 1. Внешний вид установки электростатического копчения барабанного типа

Методология исследования копченых рыбных снежков заключалась в следующем:

- 1) для выбранных точек контроля фиксировали отклики сенсоров в равновесных газовых фазах (РГФ), отобранные над образцом;
- 2) количественные показатели выбирались из хроночастотограммы первичных данных (максимальные отклики сенсоров, площади поверхности «визуальных отпечатков»). Различие или идентичность фигур полученных данных определялись сразу, что свидетельствовало о воздействии РГФ на пробы;
- 3) методом нормировки, при котором использовались различные количественные отклики системы, производился дополнительный расчет сравнения проб. При расчете применялся параметр идентификации A_{ij} процент массо-
- вой доли отдельных групп соединений. Наиболее значимое изменение запаха состава проб спектр качественного состава для отдельных проб (набор параметров A_{ij});
- 4) построение спектров качественного состава проб по показателям A_{ij} , изучение динамики их изменения при хранении;
- 5) установление (при надежном детектировании) природы летучих органических соединений, вызывающих изменения состава РГФ над образцами при хранении.

Главный критерий принятия решения о смещении состава проб при хранении – степень различия в составе легколетучей фракции запаха проб мелко нарезанных копченых рыбопродуктов, получаемых:

- по традиционной технологии (проба 1);

- под действием электростатического поля в композиции с режимом
- постоянного перемешивания (проба 2).

Копчёные рыбные снеки хранились при температуре от 0 до 8°C. При этом толщина мелко нарезанного мяса (соломки) толстолобика не превышала 5 мм, а длина 80 мм. Готовый продукт, фасованный в пленочные пакеты без вакуума, хранили при температуре от 0 до 2°C в сухом, чистом, хорошо вентилируемом помещении при относительной влажности воздуха 70-80%. Срок хранения – не более 9 суток с даты изготовления. Контроль осуществляли в 4-х точках:

- 1 точка – свежескопченный образец;
- 2 точка – 9 суток хранения при температуре 2°C;
- 3 точка – 14 суток хранения при температуре 2°C;
- 4 точка – 17 суток хранения при температуре 2°C.

Изучение состава легколетучей фракции проводилось на анализаторе газов «МАГ-8» (см. Рисунок 2) с применением методологии «электронный нос».

На основе пьезокварцевых резонаторов ОАВ-типа были сделаны 8 сенсоров, взятых в качестве измерительного массива с частотой колебания 10,0 МГц, на электродах которых применялся пленочный сорбент (Кучменко, 2019; Kuchmenko, Shuba, Kuchmenko, & Umarkhanov, 2020). Пьезосенсоры этого типа характеризуются высокой чувствительностью по массе и низкими пределами надежного детектирования нативных компонентов в биопробах, в частности при незначительном изменении их концентраций. Покрываются сенсоров были вы-



Рисунок 2. Общий вид рабочего места с анализатором «МАГ-8»

браны в соответствии с задачей: необходимость высокочувствительного детектирования биомолекул, которые будут выделяться при хранении и порче.

Сенсор 1, S1 – поливинилпирролидон, ПВП;
 Сенсор 2, S2 – пчелиный клей (прополис), ПК;
 Сенсор 3, S3 – пициклогексан-18-Краун-6, ДЦГ18К6;
 Сенсор 4, S4 – бромкрезоловый зеленый, БКЗ;
 Сенсор 5, S5 – полиэтиленгликоль сукцинат, ПЭГск;
 Сенсор 6, S6 – полиэтиленгликоль ПЭГ-2000, ПЭГ-2000;
 Сенсор 7, S7 – твин-40, Tween;
 Сенсор 8, S8 – триоктилфосфиноксид, ТОФО.

Для решения поставленной задачи контролировали зависимость изменения откликов «электронного носа» для тестируемых образцов от времени хранения.

- проба 1 («Контроль») – мелко нарезанное копченое мясо (соломка) толстолобика, полученное по традиционной технологии;
- проба 2 («Опыт») – мелко нарезанное мясо (соломка) толстолобика, насыщенное ароматическими компонентами дыма под действием электростатического поля в композиции с режимом постоянного перемешивания.

Подготовка проб к анализу. Пробы термообработанного продукта (снеки копченого мяса толстолобика) помещали в пробоотборники, затем закрывали крышку, чтобы исключить доступ кислорода, и хранили при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. Продукт должен быть полностью разморожен для насыщения равновесной газовой фазой (РГФ) над пробами. После этого при помощи шприцов объемом 3 см³ через мембрану осуществляли забор РГФ, не затрагивая образец, после чего помещали в ячейку детектирования прибора. Фон массива сенсоров от 15 до 30 Гц/с. Для выполнения качественного анализа сенсоры предварительно стабилизировались в пробных газовых смесях (Kuchmenko & Lvova, 2019).

Замер образцов проб фиксировали в течение 60 с с интервалом в 1 с для оптимального представления алгоритма – по максимальным откликам отдельных сенсоров ΔF_{\max} , Гц. Число повторений измерений проб проводили в каждой точке по 3 раза, для уменьшения погрешности воспроизведения сигналов.

Исходной первичной аналитической информацией системы «электронный нос» являлась хроночастотограмма – выходная кривая пьезосенсора

за время измерения – зависимость изменения частоты колебаний каждого сенсора от времени. Далее выборочная информация хроночастотограмм применялась для обработки и принятия решения.

С применением 8 сенсоров были установлены максимальные сигналы в виде «визуального отпечатка», которые были сформированы при помощи интегрального алгоритма. Данные отпечатки помогли различить состав разных легколетучих РГФ по сравнению с анализируемыми образцами. Расчет производился в автоматическом режиме при помощи специальных программ, что позволило в быстрые сроки установить содержание РГФ образцов.

В качестве критериев для оценки точных различий в запахе анализируемых проб были выбраны качественные и количественные характеристики пьезокварцевого микровзвешивания.

Качественные характеристики:

- а) характеристика геометрической формы «визуального отпечатка» с распределениями по осям откликов, определяемая составом соединений в РГФ;
- б) для распознавания в смеси отдельных классов соединений применялись 8 параметров идентификации A_{ij} , рассчитанные по сигналам сенсоров в анализируемых пробах:

- 1 – Твин/ПВП;
- 2 – ПчК/ПЭГ-2000;
- 3 – ДЦГ18К6/Твин;
- 4 – БКЗ/ПЭГС;
- 5 – ДЦГ18К6/Tween;
- 6 – ТОФО/ПВП;
- 7 – ПЭГс6/ТОФО;
- 8 – ТОФО/ДЦГ18К6.

Указанные параметры позволили не только идентифицировать отдельные соединения, но и оценить постоянство или же характер смещения состава РГФ над образцами.

Количественные характеристики:

- а) S_{Σ} , Гц.с/сутки – суммарная площадь поверхности полного «визуального отпечатка», которая оценивала общую интенсивность запаха, пропорциональна концентрации легколетучих веществ, в том числе воды, при этом «отпечаток» был построен по всем сигналам сенсоров в массиве за полное время измерения;

- б) максимальные сигналы сенсоров с активной или специфической пленками сорбентов ΔF_{\max} , Гц – для оценки содержания отдельных классов органических соединений в РГФ методом нормировки.

Отклики сенсоров были зафиксированы, обработаны и сопоставлены в программном обеспечении анализатора «MAG Soft». Точность оценки испытаний проводилась в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 5725¹.

Результаты и их обсуждение

Для установления различия в составе легколетучих соединений РГФ над разными образцами проведено сравнение между первой информацией, полученной от «электронного носа», – величине откликов и площади поверхности «визуального отпечатка», построенного при помощи интегрального сигнала «электронного носа» (Таблица 1).

В течение всего времени хранения проб интенсивность запаха имела различный характер (Рисунке 3). Наибольшее (качественное и количественное) содержание легколетучих соединений было характерно для точек контроля 3 и 4, то есть через 14 и 17 суток хранения. Проба 2 («Опыт») содержала большее количество легколетучих органических соединений в РГФ, чем проба 1 («Контроль»).

В процессе хранения в пробе 1 начинали проявляться качественные изменения, которые становились наиболее заметными после 9 суток. Изменения проявлялись в первую очередь, в составе легколетучих фракций, вызывающих процессы порчи. Интенсивность изменений пробы 1 очень высока, что обусловлено большим приростом содержания легколетучих соединений (порядка 150%) по сравнению с начальной точкой, в то время как для пробы 2 прирост содержания легколетучих соединений даже на 17-е сутки хранения составляют 20%. Данный факт свидетельствует о том, что проба 2 имеет более устойчивый порог к порче благодаря инновационной термической обработке продукта. Оценка скорости изменения содержания легколетучих соединений для двух видов проб в процессе хранения dS/dt , Гц.с/сут, представлена на Рисунке 4.

Анализируя данные, представленные на Рисунке 4, приходим к выводу, что скорость деструктивных

¹ ГОСТ Р ИСО 5725. (2002). Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. М.: Стандартинформ.

Таблица 1

Средние отклики сенсоров (± 1 Гц) и площадь поверхности «визуального отпечатка» сигналов сенсоров в РГФ над пробами ($S_z \pm 30$, Гц.с)

№ Пробы	S1 – ПВП	S2 – ПчК	S3 – 18к6	S4 – БКЗ	S5 – ПЭКск	S6 –ПЭГ 2000	S7 – Tween	S8 – ТОФО	S _z , Гц.с
Контроль № 1 (первые сутки)	21	5	14	3	10	9	16	8	274
Опыт № 1 (первые сутки)	22	5	16	4	10	10	18	9	330
Контроль № 2 (девятыи сутки)	22	5	13	4	10	9	16	8	284
Опыт № 2 (девятыи сутки)	23	6	13	5	11	10	17	9	345
Контроль № 3 (четырнадцатые сутки)	25	5	16	7	12	14	18	16	535
Опыт № 3 (четырнадцатые сутки)	22	6	14	5	12	10	17	10	360
Контроль № 4 (семнадцатые сутки)	21	5	13	9	10	18	15	31	685
Опыт № 4 (семнадцатые сутки)	21	5	13	6	12	12	16	13	400

процессов, проявляющихся в пробе «Контроль», выше по сравнению с пробой «Опыт». На 14-е сутки хранения в пробе «Контроль» они в 2,8 раза превышают аналогичные процессы в пробе «Опыт», а на 17-е сутки – в 4 раза. В анализируемой пробемелко нарезанного мяса (соломки) толстолобика, насыщенного ароматическими компонентами дыма в установке барабанного типа с наложением электростатического поля, процессы деструкции протекают существенно медленнее, чем в пробе, приготовленной по традиционной технологии копчения. Это согласуется с литера-

турными данными по описанию подавления микроорганизмов при копчении.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что проба «Опыт» имеет более высокий уровень хранимостпособности (наблюдается увеличение срока хранения пробы «Опыт» на 5-е сутки в сравнении с пробой «Контроль»). Данный факт объясняется совершенствованием традиционной технологии копчения рыбных полуфабрикатов, представленных нарезанными соломкой кусочками мышечной ткани толстолобика, путем создания эффекта направленного осаждения органических компонентов дыма на исходный продукт под действием электростатического поля в композиции с режимом постоянного перемешивания.

С целью фиксации изменений в составе легколетучих фракций мелко нарезанного мяса (соломки) толстолобика, насыщенного ароматическими компонентами дыма в установке барабанного типа с наложением электростатического поля, проследим изменения данных фракций в РГФ над пробами. Проводя сопоставление различных «визуальных отпечатков», можно установить различие в химическом составе РГФ. Результаты данных исследований представлены в Таблице 2.

Различия химического состава запаха наиболее заметны в начальной точке, а также в последней

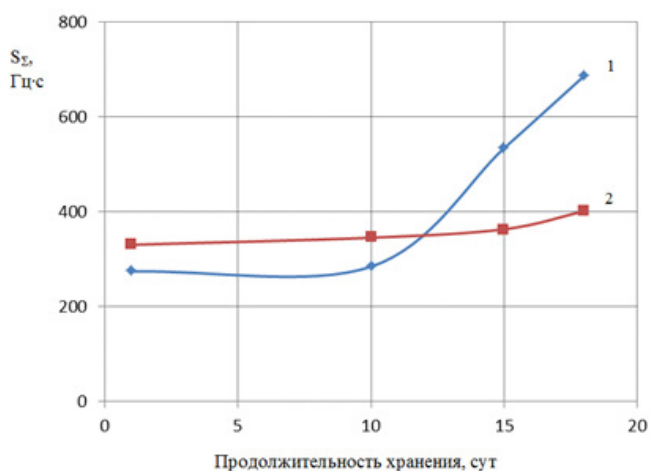


Рисунок 3. Характер изменения интегрального количественного показателя S_z , в разных точках исследования для проб «Контроль» (1) и «Опыт» (2)

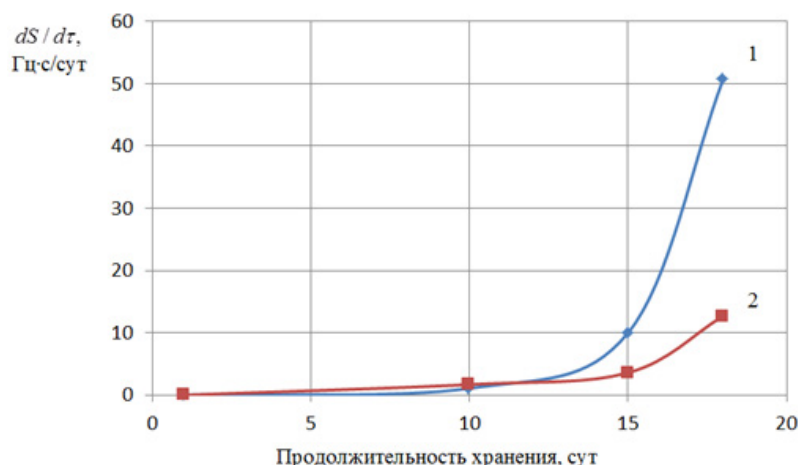


Рисунок 4. Скорость изменения интегрального количественного показателя в разных точках исследования для проб «Контроль» (1) и «Опыт» (2)

точке, в которой образец «Контроль» имеет запах испорченного продукта.

Для подтверждения правильности результатов, полученных с применением массива сенсоров на основе чувствительных микровесов, был применен метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Исследования проводили над 2 видами проб «Опыт» и «Контроль». В процессе хранения оценивали содержание как отдельных, так и в совокупности различных групп соединений, которые представлены в Таблице 3. Нормировка компонентов происходила непосредственно в РГФ, а не по всей пробе. При этом максимальные отклики каждого сенсора в массиве идентичны высоте пиков на хроматограмме.

Пробы «Опыт» и «Контроль» имеют идентичный состав по количественному и качественному содержанию основных классов соединения, однако изменение содержания компонентов для образцов происходит по-разному в процессе хранения. Общим показателем, который проявляется для всех образцов в первые 17 сутки хранения, является уменьшение количества легколетучих спиртов и кислот. Значительные изменения в пробе «Контроль» наблюдаются на 14-е сутки хранения (3-я точка), что свидетельствует о начале активной фазы порчи продукта, а в пробе «Опыт» наблюдается устойчивость образца к порче. Однако в последних точках исследования наблюдаются значительные отклонения от нормы и в пробе «Опыт», но в целом срок хранения данного образца увеличился на 5 суток. Это явление можно объяснить более интенсивным протеканием диффузионных процессов копильных ингредиентов дымовоздушной среды в толщу продукта, что обеспечивается созданием эффекта направ-

ленного осаждения органических компонентов дыма в поле высокого напряжения.

Изменения, наблюдаемые над пробами РГФ, заключаются в качественном характере и позволяют проследить за соединениями легколетучих фракций, их появление/исчезновение, за счет параметра A_{ij} , который демонстрирует концентрацию разных классов легколетучих соединений в РГФ (Таблица 4).

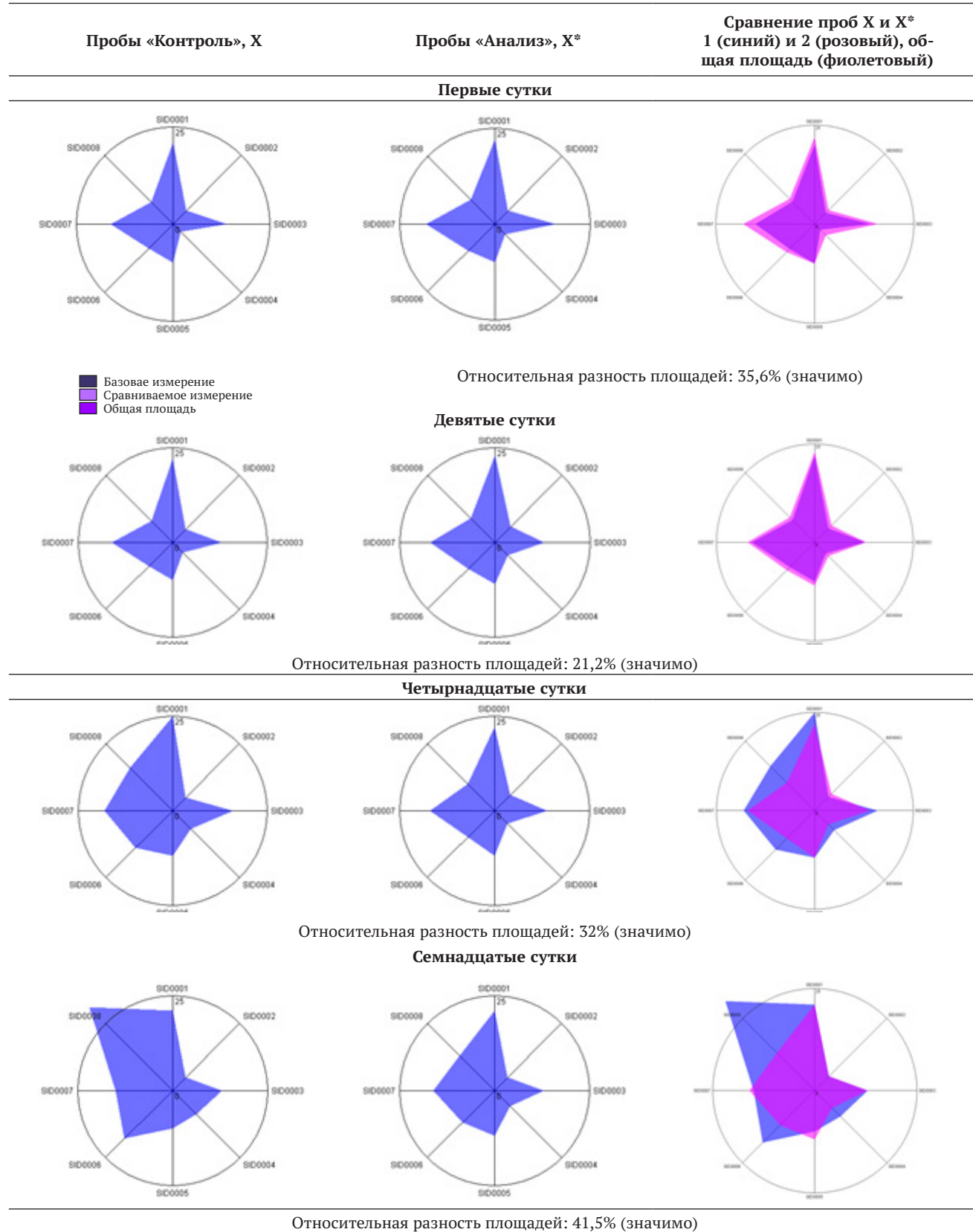
Показатели A_{ij} стабильности запаха применяются для проб, в которых содержание разных групп соединений практически одинаков. В таких случаях можно утверждать, что содержание данных соединений в образцах практически одинаково. Чтобы узнать концентрацию различных групп соединений следует сравнить соотношение сигналов с соответствующим стандартом (Таблица 4). Если показатели данных проб имеют значительное различие (более чем 40%), это означает, что в пробах происходят существенные изменения качественного состава, что сказывается на запахе образца.

При органолептической оценке дегустаторами с высокой долей вероятности будут зафиксированы различия в запахе проб. Данные различия обусловлены значениями параметра A_{ij} , которые отличаются у проб «Опыт» и «Контроль».

Установлено, что существенные изменения качественного состава равновесной газовой фазы проб «Контроль» наблюдаются после 9 суток хранения, глубокие изменения – после 14-суток. Пробы «Опыт» более стабильные и портятся в тех же условиях менее интенсивно. Из всех выбранных показателей стабильности состава выберем те, которые меняются для проб наиболее сильно. Для проб «Контроль» – это параметры № 3, 5, 6. Для

Таблица 2

«Визуальные отпечатки» максимальных сигналов сенсоров в РГФ над пробами в процессе хранения



*Примечание: по осям указаны: по круговой оси – номера сенсоров в массиве. По вертикали – максимальные отклики сенсоров в определенный момент времени измерения (ΔF_{max} , Гц).

Таблица 3

Относительное содержание компонентов в пробах, $\omega (\pm 0,5)\%$ масс

№ точки исследования	S1 - ПВП	S2 - Пчк	S3 – ДЦГ18К6	S4 - БКЗ	S5 - ПЭГС	S6 – ПЭГ – 2000	S7 - Tween	S8 – ТО - ФО
Детектируемые пары	Вода	Кетоны, спирты	Спирты, кетоны, кислоты	Азот – содержащие основания	Амины, кетоны	Спирты, кислоты	Кислоты	Ароматич., серосодерж.
Проба «Контроль»								
1 (1 сутки)	24,4	5,8	16,3	3,5	11,6	10,5	18,6	9,3
2 (9 сут)	25,3	5,7	14,9	4,6	11,5	10,3	18,4	9,2
3 (14 сут)	22,1*	4,4	14,2	6,2	10,6	12,4	15,9	14,2
4 (17 сут)	18,6	4,4	11,5	8,0	8,8	15,9	13,3	27,4
Проба «Опыт»								
1 (1 сутки)	23,4	5,3	17,0	4,3	10,6	10,6	19,1	9,6
2 (9 сут)	24,5	6,4	13,8	5,3	11,7	10,6	18,1	9,6
3 (14 сут)	22,9	6,2	14,6	5,2	12,5	10,4	17,7	10,4
4 (17 сут)	21,4	5,1	13,3	6,1	12,2	12,2	16,3	13,3

*Примечание: параметры со значимым отклонением от контрольной величины.

Таблица 4

Показатели стабильности качественного состава РГФ для тестируемых проб

№ точки исследования	Показатели стабильности запаха A_{ij}						
	1 Twen/ ПВП	2 Пчк/ПЭГ- 2000	3 БКЗ/ПЭГС	4 ДЦГ18К6/ Tween	5 ТОФО/ПВП	6 ТОФО/ ДЦГ18К6	7 Пчк/ПЭГС
Проба «Контроль»							
1 (сутки)	0,76	0,56	0,30	0,88	0,38	0,57	0,50
2 (9сут)	0,73	0,56	0,40	0,81	0,36	0,62	0,50
3 (14 сут)	0,72	0,36	0,58	0,89	0,64	1,00	0,42
4 (17 сут)	0,74	0,28	0,91	0,87	1,48	2,38	0,50
Проба «Опыт»							
1 (сутки)	0,82	0,50	0,40	0,89	0,41	0,56	0,50
2 (9 сут)	0,74	0,60	0,45	0,76	0,39	0,69	0,55
3 (14 сут)	0,77	0,60	0,42	0,82	0,45	0,71	0,50
4 (17 сут)	0,76	0,42	0,50	0,81	0,62	1,0	0,50

пробы «Опыт» – № 5. Изменение этих параметров связано с концентрацией в газовой фазе тех соединений, к которым проявляют избирательность пленки соответствующих сенсоров. Можно сделать вывод, что указанные выше 3 показателя (№ 3, 5, 6) изменяются существенно, а остальные остаются неизменными. Это говорит о том, что процесс деструкции соединений имеет разную природу накопления (Рисунок 5).

Было выделено три участка для пробы «Контроль» за время исследования:

- 1) до 9 сут. – стабильность;
- 2) от 9 до 14 сут. – порча;

- 3) более 14 сут. – глубокая деструкция и разложение.

Для проб «Опыт» таких участка два: до 14 суток – зона стабильности, 14-17 суток – порча. На стадии глубокой деструкции мышечной ткани образца, согласно полученным исследованиям, образуются ароматические циклические амины и другие N- и S-содержащие соединения. На участке порчи образуются в основном алкиламины, однако могут образовываться и тиолы.

Исходя из требований к мясу толстолобика холодного копчения, установленными нормативными документами, и на основании полученных резуль-

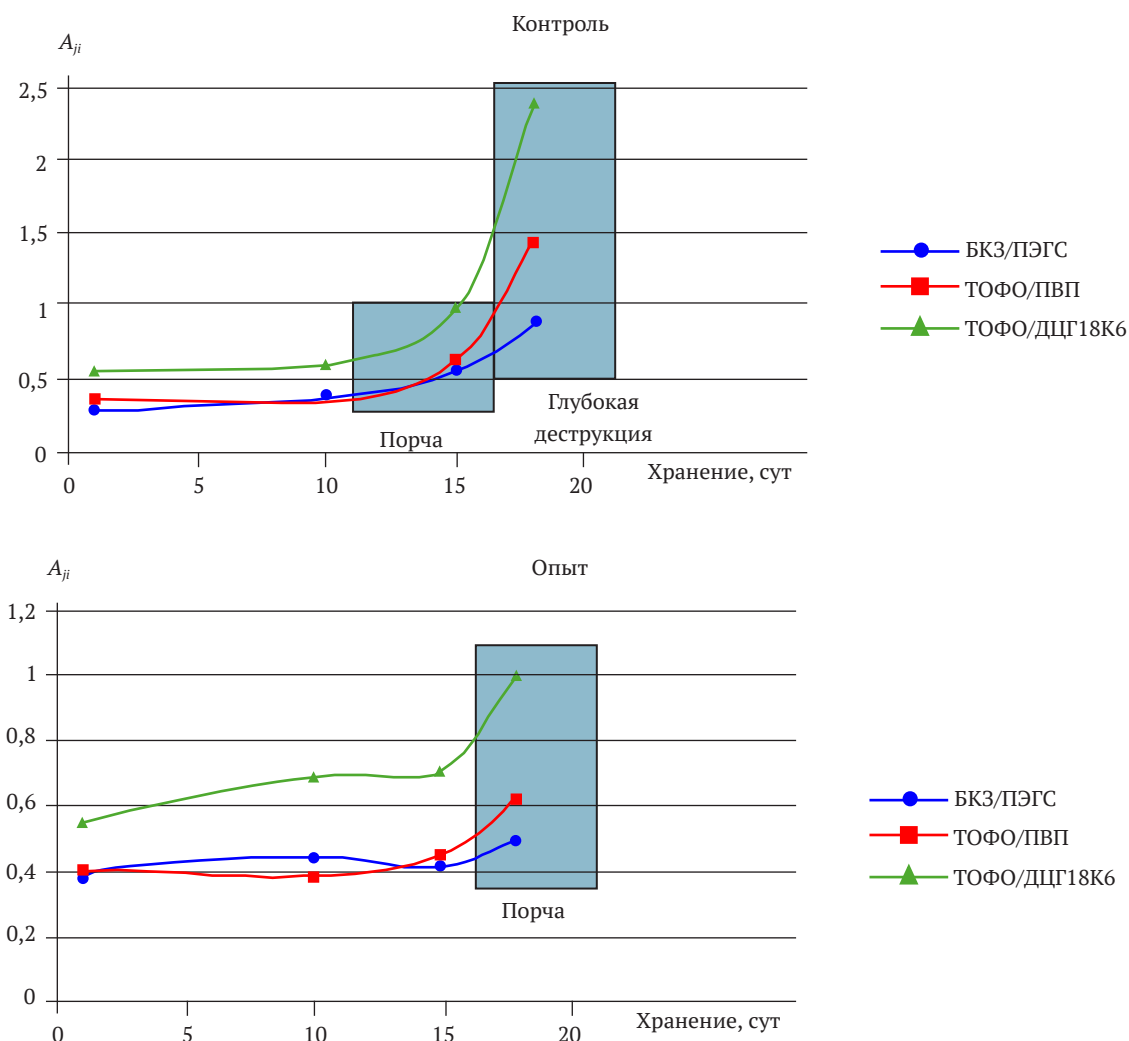


Рисунок 5. Изменение параметров постоянства состава газовой фазы A_{ij} от продолжительности хранения для проб «Контроль» и «Опыт»

татов можно сделать вывод, что в течение 14 суток хранения не наблюдается глубокой деструкции и разложения мышечной ткани. Мелко нарезанное мясо (соломка) толстолобика, насыщенное ароматическими компонентами дыма в установке барабанного типа с наложением электростатического поля, имеет более длительный срок хранения, при этом качественные показатели органолептических свойств продукта не меняются.

Для подтверждения правильности результатов, полученных с применением массива сенсоров на основе чувствительных микровесов, был применен метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Однако чувствительность этого метода не позволяет без длительной пробоподготовки детектировать и определять содержание в малой массе пробы в режиме «head-spais»-анализа легколетучих соединений –

маркеры порчи. Первые статистически значимые пики появляются на хроматограмме только при ярко выраженных изменениях состояния пробкопченных рыбных снеков.

По градуировочной смеси спиртов, кислот, кетонов для ВЭЖХ сопоставлены пределы обнаружения их на хроматографе и анализаторе газов «МАГ-8». Установлено, что применение массива 8 сенсоров обеспечивает на порядок более низкий предел детектирования, чем хроматография. А режим «head-spais»-анализа еще больше повышает надежность проведенных исследований. Правильность интерпретации результатов по оценке хранимостепособности мяса толстолобика, насыщенного ароматическими компонентами дыма, доказывается многочисленными ранее полученными результатами и проведенными исследованиями.

Учитывая энерго-, трудо- и пробозатратность, количество времени для проведения измерений, высокую чувствительность сигналов массива пьезосенсоров, методология «электронный нос» с применением системы искусственного интеллекта не имеет конкурентных аналогов для решения задач подобного рода.

Выводы

Проведенные исследования комплексной оценки качественных показателей мелко нарезанного мяса (соломки) толстолобика, насыщенного ароматическими компонентами дыма в установке барабанного типа с наложением электростатического поля, позволяют сделать вывод о безопасности данной продукции, возможности получения копченых рыбопродуктов с повышенными органолептическими показателями и хранимоспособностью, что, обуславливает ее применение в производстве снеков. Результаты практических исследований дают основание считать, что сочетание использования электростатического поля в копчении с режимом постоянного перемешивания продукта обеспечивает проникновение копильных ингредиентов через слой измельченных рыбопродуктов на оптимальном уровне, обеспечивающем формирование заданных характеристик качества, а также позволяет повысить устойчивость снековой рыбной продукции к гидролитической, окислительной и микробиологической порче.

Литература

- Антипова, Л. В., Дворянинова, О. П., & Соколов, А. В. (2016). Прудовые рыбы в улучшении структуры питания населения: гигиенические аспекты. *Гигиена и санитария*, 95(1), 84-90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-84-90>
- Белковский, Н. М. (2017). Комбинированные прудовые рыболовные хозяйства интенсивного типа и их перспективы в России. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*, 8, 61-64. URL: <https://www.salmo.ru/info/articles/art21.pdf> (дата обращения: 13.02.2021).
- Бубырь, И. В. (2019). Разработка технологии производства пресноводной рыбы холодного копчения. *Актуальные научные исследования в современном мире*, 3-1, 111-117. URL: <https://rep.polissu.by/handle/123456789/17448> (дата обращения: 13.02.2021).
- Буторин, В. А., Селунский, В. В., & Ябыков, К. Ж. (2017). Обзор электростатического копчения рыбы. *Потенциал современной науки*, 5, 5-13.
- Зотова, Л. В. (2017). Инновационные технологические решения в производстве снековой продукции. *Научные труды Кубанского государственного технологического университета*, 5, 224-233.
- Кучменко, Т. А. (2019). Химические пьезосенсоры в анализе пищевых объектов. *Контроль качества продукции*, 3, 25-31.
- Ловкис, З. В., & Бубырь, И. В. (2018). Исследование накопления фенолов в пресноводной рыбе в процессе холодного копчения. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 11(2), 95-101. URL: <https://foodindustry.belal.by/jour/article/view/333> (дата обращения: 12.03.2021).
- Голубева, О. В., Белоусова, К. В., Булганина, С. В., & Большакова, Ю. С. (2019). Маркетинговое исследование спроса на снековую продукцию потребителями. *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*, 2, 195-201.
- Мезенова, О. Я. (2017). Инновации в копчении пищевых продуктов. *Вестник науки и образования Северо-Запада России*, 3(1), 31-46. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/02/2017-No1-Mezenova.pdf> (дата обращения: 13.02.2021).
- Нилова, Л. П., Малютенкова, С. М. (2018). Диверсификация ассортимента снековой продукции. *Международный научный журнал*, 1, 38-44.
- Мезенова, О. Я., Байдалинова, Л. С., Волков, В. В., Агафонова, С. В., Мезенова, Н. Ю., & Казимирова, Е. А. (2019). Обоснование рациональных параметров гидролиза коллагенсодержащего высокоминерализованного копченого рыбного сырья. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4, 46-50. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.12>
- Павловская, Л. М., Гапеева, Л. А. (2018). Прудовая рыба – перспективное сырье для промышленной переработки. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 11(3), 58-95. URL: https://foodindustry.belal.by/jour/article/view/342?locale=ru_RU (дата обращения: 13.02.2021).
- Тюпаков, К. Э., & Акимов, Е. Б. (2019). Экономический анализ развития прудового рыболовства в России. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*, 81, 43-47. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-81-43-47>
- Шкуратова, Е. Б., Васильева, Г. С., & Шокина, Ю. В. (2017). Исследование регионального рынка копченой рыбной продукции в целях обоснования разработки инновационных технологий и расширения ассортимента. *Известия высших учебных заведений. Арктический регион*, 1, 87-96.
- Ferey, L., Delaunay, N., Rutledge, D. N., Huertas, A., Raoul, Y., Gareil, P., & Vial, J. (2013). Use of response surface methodology to optimize the

- simultaneous separation of eight polycyclic aromatic hydrocarbons by capillary zone electrophoresis with laser-induced fluorescence detection. *Journal of Chromatography A*, 1302, 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.06.027>
- Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C. H., Greenberg, A., & Rothman, N. (2018). Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 423-436. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(00\)00158-7](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(00)00158-7)
- Kıralan, S. (2020). Phthalate and polycyclic aromatic hydrocarbon levels in liquid ingredients of packaged fish sold in turkish markets. *Journal of Oleo Science*, 69(8), 851-858. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20054>
- Kuchmenko, T. A., & Lvova, L. B. (2019). A perspective on recent advances in piezoelectric chemical sensors for environmental monitoring and foodstuffs analysis. *Chemosensors*, 7(3), 39. <https://doi.org/10.3390/chemosensors7030039>
- Kuchmenko, T. A., Shuba, A. A., Kuchmenko, D. A., & Umarkhanov, R. U. (2020). Development of a method for assessing helicobacter pylori activity based on exhaled air composition with the use of an array of piezoelectric chemical sensors. *Journal of Analytical Chemistry*, 75(4), 553-562. <https://doi.org/10.31857/S004445022004009X>
- Montazeri N., Oliveira, A. C. M., Himelbloom, B. H., Leigh, M. B., & Craspo, C. A. (2013). Chemical characterization of commercial liquid smoke products. *Health and Nutritional Sciences*, 1(1), 102-115. <https://doi.org/10.1002/fsn3.9>
- Ramakrishnan, V. V., Ghaly, A. E., Brooks, M. S., Budge, S. M. (2013). Extraction of oil from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme. *Enzyme Engineering*, 2(2), 115-125. <https://doi.org/10.4172/2329-6674.1000115>
- Rohlman, D., Frey, G., Kile, M. L., Harper, B., Harris, S., Motorykin, O., Simonich, S. L. M., Harding, A. K. (2016). Communicating results of a dietary exposure study following consumption of traditionally smoked salmon. *Environmental Justice*, 9(3), 85-92. <https://doi.org/10.1089/env.2016.0006>
- Slizyte, R, Rommi, K., Mozuraityte, R., Eck, P., Five, K., & Rustad, T. (2016). Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones. *Biotechnology Reports*, 11, 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.08.003>
- Yusuf, K. A., Ezechukwu, L. N., Fakoya, K. A., Akintola, S. L., Agboola, J. I., Omoleye, T. O. (2015). Influence of fish smoking methods on polycyclic aromatic hydrocarbons content and possible risks to human health. *African Journal of Food Science*, 9(3), 126-135. <https://doi.org/10.5897/AJFS2014.1227>
- Zastrow, L., Schwind, K.-H., Schwägele, F., & Karl Speer, K. (2019). Influence of smoking and barbecuing on the contents of anthraquinone (ATQ) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Frankfurter-type sausages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 13998-14004. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03316>

Comprehensive Analysis of Storage Efficiency of Smoked Fish Products Obtained by a Drum-Type Machine with Electrostatic Field Superposition

Aleksey V. Zhuravlev

*Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: alexjav2@mail.ru*

Sergey V. Shakhov

*Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: s_shahov@mail.ru*

Igor N. Sukharev

*Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: i.suxarev@yandex.ru*

Sergey Yu. Shubkin

*Yelets State University named after I. A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, Lipetsk region, 399770, Russian Federation
E-mail: shubkin.92@mail.ru*

This provides an expansion of the range of smoked products and an improvement of their quality. Today, fish snacks are in high demand. They represented by slices of fish muscle tissue cut into strips, treated with smoking components. Smoked fish snacks are natural concentrates of complete fish protein, preserved by dehydration and smoking components – phenolic, carbonyl and acid compounds. Treatment with smoking components helps to disguise the natural imperfections of the dried muscle tissue of such pond fish as silver carp, whose meat is not capable of maturation and has a specific smell. Smoke drying gives the finished product attractive gastronomic properties and increases its nutritional value. The article presents the results of improving the traditional process of smoking fish straws by directed precipitation of organic components of smoke by an electrostatic field, carried out with constant stirring of fish semi-finished product, cut into strips. The proposed solution makes it possible to intensify the process, reduce the loss of the smoke-air environment into the atmosphere, improve the environmental friendliness and controllability of smoke drying, obtain organoleptically attractive fish products with increased shelf-life stability, which seems topical for the science and practice of smoking. An integrated assessment of the effectiveness of fish products saturation with smoking components by identifying the presence of aromatic smoke components in them, blocking the growth of microorganisms, was carried out in the course of our laboratory studies. Uniform distribution of aromatic components of smoke in fish snacks helps to reduce the pathogenic number growth of microorganisms during storage. Highly sensitive detection was carried out to determine the nature of changes in fish snacks during storage by using a gas analyzer “electronic nose”. It was found that samples smoked in an electrostatic field using a constant stirring mode have more stable performance during storage and deteriorate under the same conditions less intensively than samples smoked in a traditional way. During 14 days of storage, deep destruction and decomposition of the muscle tissue of smoked silver carp meat were not observed, which proves the effectiveness of the proposed smoking regime.

Keywords: smoking efficiency, fish products, control, “electronic nose”, storage capacity, electrostatic smoking, constant stirring mode

References

Antipova, L. V., Dvoryaninova, O. P., & Sokolov, A. V. (2016). Prudovye ryby v uluchshenii struktury pitaniya naseleniya: gigienicheskie aspekty

[Pond fish in improving the nutritional structure of the population: hygienic aspects]. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]*, 95(1), 84-90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-84-90>

- Belkovskii, N. M. (2017). Kombinirovannye prudovye rybovodnye khozyaistva intensivnogo tipa i ikh perspektivy v Rossii [Combined pond intensive fish farms and their prospects in Russia]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaistvo [Fish farming and fisheries]*, 8, 61-64. URL: <https://www.salmo.ru/info/articles/art21.pdf> (accessed: 13.02.2021).
- Bubyr', I. V. (2019). Razrabotka tekhnologii proizvodstva presnovodnoi ryby kholodnogo kopcheniya [Development of cold-smoked freshwater fish production technology]. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire [Current scientific research in the modern world]*, 3-1, 111-117. URL: <https://rep.polessu.by/handle/123456789/17448> (accessed: 13.02.2021).
- Butorin, V. A., Selunskii, V. V., & Yabykov, K. Zh. (2017). Obzor elektrostatische kopcheniya ryby [Overview of electrostatic Smoking of fish]. *Potentsial sovremennoi nauki [Potential of modern science]*, 5, 5-13.
- Golubeva, O. V., Belousova, K. V., Bulganina, S. V., & Bol'shakova, Yu. S. (2019). Marketingovoe issledovanie sprosa na snekovuyu produktsiyu potrebitel'nyami [Marketing research of demand for snack products by consumers]. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya [Innovative economy: prospects for development and improvement]*, 2, 195-201.
- Kuchmenko, T. A. (2019). Khimicheskie p'ezosensory v analize pishchevykh ob'ektov [Chemical piezosensors in the analysis of food objects]. *Kontrol' kachestva produktsii [Product quality control]*, 3, 25-31.
- Lovkis, Z. V., & Bubyr', I. V. (2018). Issledovanie nakopleniya fenolov v presnovodnoi rybe v protsesse kholodnogo kopcheniya [Investigation of phenol accumulation in freshwater fish during cold Smoking]. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii [Food industry: science and technology]*, 11(2), 95-101. URL: <https://foodindustry.belal.by/jour/article/view/333> (accessed: 12.03.2021).
- Mezenova, O. Ya. (2017). Innovatsii v kopchenii pishchevykh produktov [Innovations in food Smoking]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii [Bulletin of science and education of the North-West of Russia]*, 3(1), 31-46. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/02/2017-No1-Mezenova.pdf> (accessed: 13.02.2021).
- Mezenova, O. Ya., Baidalinova, L. S., Volkov, V. V., Agafonova, S. V., Mezenova, N. Yu., & Kazimirova, E. A. (2019). Obosnovanie ratsional'nykh parametrov gidroliza kollagensoderzhashchego vysokomineralizovannogo kopchenogo rybnogo syr'ya [Justification of rational parameters of hydrolysis of collagen-containing highly mineralized smoked fish raw materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of higher educational institutions. Food technology]*, 4, 46-50. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.12>
- Nilova, L. P., Malyutenkova, S. M. (2018). Diversifikatsiya assortimenta snekovoi produktsii [Diversification of the snack product range]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal [International scientific journal]*, 1, 38-44.
- Pavlovskaya, L. M., Gapeeva, L. A. (2018). Prudovaya ryba – perspektivnoe syr'e dlya promyshlennoi pererabotki [Pond fish is a promising raw material for industrial processing]. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii [Food industry: science and technologies]*, 11(3), 58-95. URL: https://foodindustry.belal.by/jour/article/view/342?locale=ru_RU (accessed: 13.02.2021).
- Shkuratova, E. B., Vasil'eva, G. S., & Shokina, Yu. V. (2017). Issledovanie regional'nogo rynka kopchenoi rybnoi produktsii v tselyakh obosnovaniya razrabotki innovatsionnykh tekhnologii i rasshireniya assortimenta. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii [Research of the regional market of smoked fish products in order to justify the development of innovative technologies and expand the range]. Arkticheskii region [News of higher educational institutions. Arctic region]*, 1, 87-96.
- Tyupakov, K. E., & Akimov, E. B. (2019). Ekonomicheskii analiz razvitiya prudovogo rybovodstva v Rossii [Economic analysis of the development of pond fish farming in Russia]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Kuban state agrarian University]*, 81, 43-47. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-81-43-47>
- Zotova, L. V. (2017). Innovatsionnye tekhnologicheskie resheniya v proizvodstve snekovoi produktsii [Innovative technological solutions in the production of snack products]. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Scientific works of Kuban state technological University]*, 5, 224-233.
- Ferey, L., Delaunay, N., Rutledge, D. N., Huertas, A., Raoul, Y., Gareil, P., & Vial, J. (2013). Use of response surface methodology to optimize the simultaneous separation of eight polycyclic aromatic hydrocarbons by capillary zone electrophoresis with laser-induced fluorescence detection. *Journal of Chromatography A*, 1302, 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.06.027>
- Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C. H., Greenberg, A., & Rothman, N. (2018). Analysis of 200 food items for benzo[a] pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 423-436. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(00\)00158-7](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(00)00158-7)
- Kıralan, S. (2020). Phthalate and polycyclic aromatic hydrocarbon levels in liquid ingredients of packaged

- fish sold in turkish markets. *Journal of Oleo Science*, 69(8), 851-858. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20054>
- Kuchmenko, T. A., & Lvova, L. B. (2019). A perspective on recent advances in piezoelectric chemical sensors for environmental monitoring and food-stuffs analysis. *Chemosensors*, 7(3), 39. <https://doi.org/10.3390/chemosensors7030039>
- Kuchmenko, T. A., Shuba, A. A., Kuchmenko, D. A., & Umarkhanov, R. U. (2020). Development of a method for assessing helicobacter pylori activity based on exhaled air composition with the use of an array of piezoelectric chemical sensors. *Journal of Analytical Chemistry*, 75(4), 553-562. <https://doi.org/10.31857/S004445022004009X>
- Montazeri N., Oliveira, A. C. M., Himelbloom, B. H., Leigh, M. B., & Craspo, C. A. (2013). Chemical characterization of commercial liquid smoke products. *Health and Nutritional Sciences*, 1(1), 102-115. <https://doi.org/10.1002/fsn3.9>
- Ramakrishnan, V. V., Ghaly, A. E., Brooks, M. S., Budge, S. M. (2013). Extraction of oil from mackerel fish processing waste using alcalase enzyme. *Enzyme Engineering*, 2(2), 115-125. <https://doi.org/10.4172/2329-6674.1000115>
- Rohlman, D., Frey, G., Kile, M. L., Harper, B., Harris, S., Motorykin, O., Simonich, S. L. M., Harding, A. K. (2016). Communicating results of a dietary exposure study following consumption of traditionally smoked salmon. *Environmental Justice*, 9(3), 85-92. <https://doi.org/10.1089/env.2016.0006>
- Slizyte, R, Rommi, K., Mozuraityte, R., Eck, P., Five, K., & Rustad, T. (2016). Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones. *Biotechnology Reports*, 11, 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.08.003>
- Yusuf, K. A., Ezechukwu, L. N., Fakoya, K. A., Akintola, S. L., Agboola, J. I., Omoleye, T. O. (2015). Influence of fish smoking methods on polycyclic aromatic hydrocarbons content and possible risks to human health. *African Journal of Food Science*, 9(3), 126-135. <https://doi.org/10.5897/AJFS2014.1227>
- Zastrow, L., Schwind, K.-H., Schwägele, F., & Karl Speer, K. (2019). Influence of Smoking and Barbecuing on the Contents of Anthraquinone (Atq) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Frankfurter-Type Sausages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 13998-14004. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03316>