



Научная статья

4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)

УДК 66.094.941-594

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.005

EDN: PMASNI

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА АНАДАРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА

Любовь Михайловна Есина ¹, Зоя Евгеньевна Ушакова ²,
Ольга Николаевна Кривonos ³, Ирина Андреевна Белякова ⁴,
Дарья Васильевна Штенина ⁵

1, 2, 3, 4, 5 Южный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Южный»), Ростов-на-Дону, Россия

¹ esinalm@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6332-426X>

² ushakovaze@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8917-9611>

³ krivonoson@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1300-0697>

⁴ belyakovaia@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6382-0896>

⁵ shteninadv@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7057-514x>

Аннотация. Исследования по переработке двустворчатого моллюска Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна *Anadara kagoshimensis* являются актуальными, поскольку биомасса анадары достигла объемов, достаточных для организации промысла. В связи с этим целью исследования являлось установление с помощью методологии поверхности отклика параметров ферментативного гидролиза анадары, измельченной вместе со створками раковин, что будет способствовать ее рациональной переработке, не требующей разделки моллюска. Получено уравнение регрессии, описывающее накопление формольно-титруемого азота (функция отклика) в гидролизате в зависимости от продолжительности процесса, количества фермента алкалазы и гидромодуля. Для трехфакторного эксперимента определен оптимальный режим гидролиза: продолжительность 449 мин, количество фермента алкалазы – 1,7 % к массе мягких тканей анадары с полостной жидкостью, гидромодуль – 3 %. Для установления целесообразности добавления 3 % воды проведен двухфакторный эксперимент и показано, что на данные гидролиза не оказывает существенного влияния гидромодуль из-за наличия в гидролизуемой массе полостной жидкости моллюска. В связи с этим оптимальным режимом гидролиза без гидромодуля является продолжительность процесса 414 мин, количество алкалазы – 1,7 %, что обеспечивает накопление 479 мг% формольно-титруемого азота, степень гидролиза 46,1 %. Учитывая, что проведение гидролиза в течение почти 7 ч приведет к высоким энергетическим затратам, на основании анализа экспериментальных данных по накоплению формольно-титруемого азота и величины степени гидролиза за рациональный режим для анадары предлагается режим продолжительностью 230 мин и количеством алкалазы – 1,3 % при температуре 55 ± 2 °C, pH = 6,5 ед. Гидролизат, полученный по указанному режиму после концентрирования до содержания сухих веществ 50 %, характеризуется достаточно высоким содержанием белка (≈ 30 %) и степенью гидролиза $44,1 \pm 1,4$ %.

Ключевые слова: анадара *Anadara kagoshimensis*, алкалаза, гидролиз, методология поверхности отклика, функция отклика, гидромодуль, формольно-титруемый азот, степень гидролиза.

Для цитирования: Моделирование параметров гидролиза анадары с использованием методологии поверхности отклика / Л. М. Есина [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 39–45. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.005. EDN: <https://elibrary.ru/PMASNI>.

Original article

MODELING HYDROLYSIS PARAMETERS OF HALF-CRENATED ARK USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Lubov M. Esina ¹, Zoya E. Ushakova ², Olga N. Krivonos ³, Irina A. Belyakova ⁴,
Daria V. Shtenina ⁵

1, 2, 3, 4, 5 Southern Branch of the SRC RF FSBSI “VNIRO” (“Southern”), Rostov-on-Don, Russia

¹ esinalm@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6332-426X>

² ushakovaze@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8917-9611>

³ krivonoson@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1300-0697>

⁴ belyakovaia@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6382-0896>

⁵ shteninadv@azniir.kh.vniro.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7057-514x>

© Есина Л. М., Ушакова З. Е., Кривonos О. Н., Белякова И. А., Штенина Д. В., 2026

Abstract. Studies on the processing of the bivalve mollusc *Anadara kagoshimensis* (half-crenated ark), inhabiting the Azov and Black Sea Fishery Basin, are of immediate relevance due to its biomass reaching volumes sufficient for its commercial exploitation. This necessitated research aimed at identification of the parameters for enzymatic hydrolysis of half-crenated ark using Response Surface Methodology; the molluscs subjected to hydrolysis are ground with their shells, which ensures their rational processing without preliminary dressing. A regression equation has been derived to describe the accumulation of formol-titratable nitrogen (the response function) in the hydrolysate depending on the process duration, the dosage of alcalase enzyme, and a hydromodulus. The optimal hydrolysis regime for a three-factor experiment has been identified: duration of 449 minutes, alcalase enzyme dosage of 1.7 % relative to the weight of half-crenated ark soft tissues with perivisceral fluid, and a hydromodulus of 3 %. A two-factor experiment was conducted to determine the feasibility of adding 3 % of water, and its results indicate that a hydromodulus does not exert a significant effect on the hydrolysis outcome due to the presence of molluscan perivisceral fluid in the pulp subjected to hydrolysis. Thus, the optimal hydrolysis regime without a hydromodulus involves the process duration of 141 minutes and the alcalase enzyme dosage of 1.7 %, which ensures the accumulation of 479 mg% of formol-titratable nitrogen and the hydrolysis degree of 46.1 %. Considering the high energy demand associated with the 7-hour-long hydrolysis process, the analysis of experimental data on the accumulation of formol-titratable nitrogen and the degree of hydrolysis provides the ground to recommend as rational for half-crenated ark the following regime: process duration of 230 minutes and alcalase enzyme dosage 1.3 % at the temperature of 55 ± 2 °C and pH=6.5. The hydrolysate obtained following the specified regime, after its concentration to 50 % of dry matter content, is characterized by a relatively high protein content (≈ 30 %) and degree of hydrolysis 44.1 ± 1.4 %.

Keywords: half-crenated ark *Anadara kagoshimensis*, alcalase, hydrolysis, Response Surface Methodology, response function, hydromodulus, formol-titratable nitrogen, degree of hydrolysis.

For citation: Esina, L. M., Ushakova, Z. E., Krivonos, O. N., Belyakova, I. A. & Shtenina, D. V. (2026). Modeling hydrolysis parameters of half-crenated ark using Response Surface Methodology. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 39-45. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.02.005. EDN: https://elibrary.ru/PMASNI.

ВВЕДЕНИЕ

В результате уменьшения материкового стока, повышения солености и температурного фона воды Азовского моря наблюдается сокращение запасов основных промысловых объектов (хамсы, тюльки, бычков). При этом отмечается интенсивный рост численности и биомассы промысловых беспозвоночных, среди которых следует выделить зарывающегося двустворчатого моллюска анадара [1].

Анадара в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне является инвазивным видом, впервые была обнаружена в Черном море в районе Туапсе в 1968 г., в Азовском море – в 1989 г. В научно-исследовательских работах моллюск упоминается под наименованиями скафарка (*Scapharca cornea*, *Scapharca inaequivalvis*), кунearка (*Cunearca cornea*). Проведенная генетическая экспертиза подтвердила принадлежность данного моллюска к виду *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) [2].

An. kagoshimensis колонизировала все Азовское море, ее запас является достаточным для организации рентабельного промысла, однако в настоящее время данный сырьевой ресурс не осваивается. В отличие от таких азово-черноморских моллюсков, как мидии, устрицы, рапана, для анадары не разработаны технологические способы ее обработки, поэтому исследования по переработке *An. kagoshimensis* являются актуальными.

Сложность переработки анадары заключается в незначительном размере моллюска, промысловый размер которого в соответствии с правилами рыболовства Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна составляет 3 см, что значительно отличает *An. kagoshimensis* от дальневосточной анадары *An. broughtoni* с промысловым размером 8 см.

Мясо анадары отличается повышенной жесткостью, обусловленной своеобразным гистологическим строением ткани моллюсков и высоким содержанием соединительнотканых белков, которые в *An. kagoshimensis* составляют 31 % от общего количества белка [3]. Как правило, соединительнотканые белки представлены коллагеном и коннектином. Высокий

молекулярный вес коннектина (более 2000 кДа) и стабильность *in vivo* являются факторами, определяющими прочность мышечных волокон моллюска [4], что сказывается на органолептических свойствах пищевой продукции из анадары.

Механизированные способы разделки анадары отсутствуют, ручная разделка из-за незначительных размеров моллюска является трудоемким процессом и сопровождается большими технологическими потерями, поскольку из всей массы мягких тканей используют только двигательный мускул (ногу), который для *An. kagoshimensis* составляет 6–9 % от массы моллюска.

В связи с этим рациональным способом обработки *An. kagoshimensis* может быть гидролиз, при котором будет использоваться все мягкое тело моллюска вместе с полостной жидкостью.

Исследования аминокислотного состава, рассчитанные аминокислотные скорости белка *An. kagoshimensis* показали высокую биологическую ценность данного моллюска, что позволяет рассматривать азовскую анадара как сырьевой ресурс для производства гидролизатов [3].

Целью данной работы являлось определение параметров гидролиза с использованием методологии поверхности отклика (RSM – Response Surface Methodology). Данная методология успешно используется для оптимизации процессов переработки пищевого сырья, в т.ч. рыбного [5–7]. Задачей исследования являлось установление влияния продолжительности гидролиза, количества фермента и гидро модуля на накопление аминного (формольно-титруемого) азота с последующим определением степени гидролиза.

МЕТОДЫ

Для исследований использовали анадара, добытую в октябре 2024 г. в Керченском проливе Азовского моря. Анадара в целом (неразделанном) виде после тщательной мойки была упакована в пакеты из полимерных материалов, хранилась в замороженном виде при температуре минус 18 °C. Срок хранения анадары перед проведением исследований составлял 4–6 мес.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА АНАДАРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА

Перед гидролизом мороженую анадару в створках мыли в проточной воде и после стекания дробили. Размер кусочков дробленых створок раковин в наибольшем измерении составлял 1–1,5 см.

Гидролиз проводили с использованием сериновой эндопептидазы алкалазы 24L активностью 2,4 АУ/г (производство Китай). Преимуществом использования алкалазы является достижение высокой степени гидролиза в течение относительно короткой продолжительности процесса, а также возможность гидролиза при естественном pH, свойственном рыбному сырью [8].

Таблица 1 – Матрица планирования трехфакторного эксперимента

Table 1 – Design matrix for a three-factor experiment

№ точки эксперимента	Точки плана	Продолжительность гидролиза (x1), мин	Количество ферментного препарата (x2), %	Гидро модуль (x3), %
1	ядро	100,0	0,6	15,0
2		360,0	0,6	15,0
3		100,0	2,0	15,0
4		360,0	2,0	15,0
5		100,0	0,6	50,0
6		360,0	0,6	50,0
7		100,0	2,0	50,0
8		360,0	2,0	50,0
9	звездные точки	11,0	1,3	32,5
10		449,0	1,3	32,5
11		230,0	0,1	32,5
12		230,0	2,5	32,5
13		230,0	1,3	3,0
14		230,0	1,3	62,0
15	центр плана	230,0	1,3	32,5
16		230,0	1,3	32,5

В соответствии с планом эксперимента продолжительность гидролиза составляла от 11 до 449 мин, количество ферментного препарата – от 0,1 до 2,5 % к массе мягких тканей анадары с полостной жидкостью, гидро модуль (количество воды к измельченной анадаре со створками) – от 3 до 62 %. За постоянные величины была принята температура гидролиза 55±2 °С (температурный оптимум используемого ферментного препарата), а также pH, принятый на уровне естественного значения сырья, равном 6,5 ед.

Гидролизующую массу периодически перемешивали. После гидролиза фермент инактивировали нагреванием при температуре 80 °С в течение 15 мин. После инактивации фермента гидролизат охлаждали до температуры 30 °С, отделяли от створок раковин с помощью сита из мельничного газа и отстаивали при температуре 6±2 °С в течение 8 ч для седиментации непрогидролизованной массы и разделения гидролизата на жидкую фракцию и плотный остаток. После отстаивания гидролизат декантировали, непрогидролизованную плотную часть центрифугировали, центрифугат смешивали с декантированным гидролизатом. Концентрирование гидролизата осуществляли на ротационном испарителе Stegler R-213b.

Массовую долю общего азота и белка с использованием комплекса «Кельтран» («Keltum»), содержание воды (сухих веществ (СВ)), зола, жира определяли по ГОСТ 7636-85, pH измеряли с помощью потенциометрического титратора «Титрион» по ГОСТ 28972-91, углеводы – расчетным методом.

$$Y = -107,006 + 1,35836 \cdot x_1 + 311,735 \cdot x_2 + 2,45656 \cdot x_3 - 0,00131356 \cdot x_1^2 + 0,0206762 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00637956 \cdot x_1 \cdot x_2 - 92,3744 \cdot x_2^2 - 0,172936 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,0333292 \cdot x_3^2$$

(1)

Результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных (ANOVA) приведены в таблице 3.

Необходимое количество алкалазы рассчитывали от массы мышечной ткани с полостной жидкостью, которая составляла около 30 % от массы моллюска.

Для изучения влияния различных факторов гидролиза на накопление формольно-титруемого азота (функция отклика) использовали ортогональный центральный композиционный план второго порядка.

Планирование эксперимента по гидролизу проводили с помощью программного пакета Statgraphics Plus 5.0 для трех факторов: продолжительности гидролиза (x1), количества фермента (x2) и гидро модуля (x3) (табл. 1).

Процесс гидролиза контролировали по накоплению аминного азота (формольно-титруемого азота (ФТА)) по ГОСТ 29311–92 (расчет проводили в мг на 100 г (мг%)) и по степени гидролиза (СГ) – отношению количества выделившегося аминного азота к общему азоту [9, 10].

Анализ полученных данных осуществляли с использованием программ Statgraphics Plus 5.0, Microsoft Excel. Представленные результаты являются средними значениями не менее трех измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты реализации трехфакторного ортогонального плана для фермент-субстратной системы, состоящей из дробленой анадары со створками раковин и фермента алкалазы, представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что минимальное значение ФТА составляло 106 мг% при использовании 0,1 % фермента (точка № 11), максимальное – 448 мг% при использовании 2,0 % фермента (точка № 4). Близкой к точке № 4 по накоплению ФТА является точка № 10 (444 мг%). Точка № 10 характеризуется наибольшей степенью расщепления белков (СГ = 46,8 %) при дозе ферментного препарата 1,3 %, гидро модуле 32,5 %, продолжительности 449 мин.

На основании данных, представленных в таблице 2, было получено уравнение регрессии, описывающее процесс накопления ФТА в гидролизате (формула 1):

Результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных (ANOVA) приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Функция отклика (ФТА), содержание белка, сухих веществ и степень гидролиза белковых веществ для трехфакторного эксперимента

Table 2 – Response function (formol-titratable nitrogen), content of protein and dry matter, and degree of hydrolysis of protein substances in a three-factor experiment

№ точки	Факторы (натуральные значения) гидролиза			Функция отклика (ФТА, мг%)	Показатели гидролизата		
	Продолжительность (x1), мин	Количество фермента (x2), %	Гидромо-дуть (x3), %		Белок, %	Сухие ве-щества, %	СГ, %
1	100,0	0,6	15,0	215	4,6	7,3	35,6
2	360,0	0,6	15,0	387	6,1	9,9	39,7
3	100,0	2,0	15,0	271	5,0	9,4	33,9
4	360,0	2,0	15,0	448	5,9	10,0	41,8
5	100,0	0,6	50,0	201	4,1	6,6	31,3
6	360,0	0,6	50,0	290	4,7	7,7	38,6
7	100,0	2,0	50,0	246	4,2	7,6	36,6
8	360,0	2,0	50,0	369	5,2	9,0	44,4
9	11,0	1,3	32,5	184	3,6	10,7	30,4
10	449,0	1,3	32,5	444	6,1	13,4	46,8
11	230,0	0,1	32,5	106	2,3	4,3	28,8
12	230,0	2,5	32,5	380	5,9	10,4	40,3
13	230,0	1,3	3,0	390	6,2	10,4	42,0
14	230,0	1,3	62,0	306	4,5	7,9	42,5
15	230,0	1,3	32,5	393	6,4	9,8	38,8
16	230,0	1,3	32,5	372	5,6	10,7	44,9

Таблица 3 – Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) / Table 3 – Results of variance analysis (ANOVA)

Переменные величины (Variables)	Сумма квадратов (Sum of squares)	Степень свободы (DF)	Средний квадрат (Mean square)	F-значение (F value)	P-значение (P value)
x1	17182,1	1	17182,1	10,54	0,0175
x2	14915,3	1	14915,3	9,15	0,0232
x3	3937,02	1	3937,02	2,42	0,1711
x1 ²	4584,41	1	4584,41	2,81	0,1445
x1x2	29,2779	1	29,2779	0,02	0,8978
x1x3	1682,1	1	1682,1	1,03	0,3488
x2 ²	20483,6	1	20483,6	12,57	0,0121
x2x3	37,1159	1	37,1159	0,02	0,8850
x3 ²	971,39	1	971,39	0,60	0,4694
Совокупная ошибка (Total error)	9777,08	6	1629,51	–	–
Общая корреляция (Total (corr.))	15276,0	15	–	–	–
Коэффициент детерминации R ² – 93,5999%					
Скорректированный коэффициент детерминации Adj. R ² – 83,9997 %					
Коэффициент вариации CV – 2,40297%					

Из таблицы 3 видно, что наибольшее влияние на накопление ФТА оказывают факторы x1, x2 и квадрат переменной x2. Модель показала хорошее соответствие экспериментальным данным с высокими значениями коэффициента детерминации R² (93,6 %) и скорректированного коэффициента детерминации Adj. R² (84,0 %). Невысокое значение коэффициента вариации (2,4 %) предполагает высокую степень точности и надежности экспериментальных значений. Этот результат подразумевает, что процесс гидролиза дробленой анадары со створками раковин с использованием фермента алкалазы может быть проанализирован и предсказан с помощью модели.

Поверхность отклика, характеризующая накопление ФТА в фермент-субстратной системе, представлена на рисунке 1.

Как было указано выше (табл. 2), точка № 10 показывает наибольшую степень расщепления белков (46,8 %) при дозе алкалазы 1,3 %, гидромо-дуле 32,5 % и продолжительности 449 мин. При этом программой Statgraphics Plus 5.0 для оптимизации гид-

ролиза продолжительностью 449 мин рекомендуется увеличить количество ферментного препарата до 1,7 % и снизить гидромодуль до 3 %.

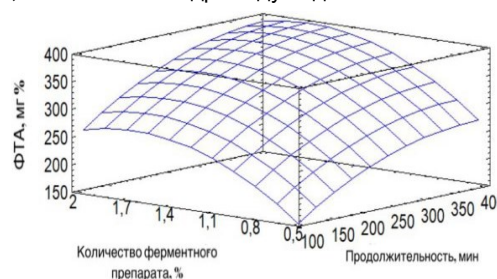


Рисунок 1 – График поверхности отклика, характеризующий накопление ФТА в процессе гидролиза дробленой анадары со створками

Figure 1 – Three-dimensional graph of the response surface characterizing the accumulation of formol-titratable nitrogen in the hydrolysis of ground half-crenated ark with shells

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА АНАДАРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА

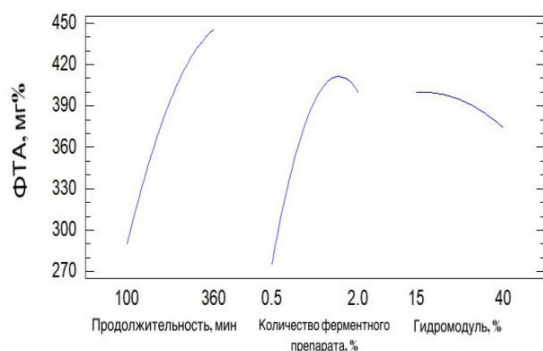


Рисунок 2 – Динамика накопления ФТА в зависимости от факторов x_1 , x_2 , x_3

Figure 2 – Dynamics of formol-titrable nitrogen accumulation depending on the factors x_1 , x_2 and x_3

Данное предложение закономерно, поскольку на

Таблица 4 – Функция отклика (ФТА), содержание белка, сухих веществ и степень гидролиза белковых веществ для двухфакторного эксперимента

Table 4 – Response function (formol-titrable nitrogen), content of protein and dry matter, and degree of hydrolysis of protein substances in a two-factor experiment

№ точки	Факторы (натуральные значения) гидролиза		Функция отклика (ФТА, мг%)	Показатели гидролизата		
	Продолжительность (x_1), мин	Количество фермента (x_2), %		Белок, %	Сухие вещества, %	Степень гидролиза, %
1	100,0	0,5	226	3,7	8,2	38,2
2	360,0	0,5	385	7,3	10,9	33,0
3	100,0	2,0	255	3,9	8,8	40,9
4	360,0	2,0	398	5,3	11,5	46,9
5	46,0	1,3	175	3,6	7,4	30,4
6	414,0	1,3	479	6,5	13,1	46,1
7	230,0	0,2	228	3,8	7,8	37,5
8	230,0	2,3	360	5,6	10,7	40,2
9	230,0	1,3	317	4,9	8,7	40,4
10	230,0	1,3	325	5,2	9,8	39,1

Согласно таблице 4, максимальное накопление ФТА наблюдалось для точек № 4 и № 6. Значения степени гидролиза для этих точек близки и составляют 46,9 % и 46,1 % соответственно. Эти точки по степени гидролиза близки с точкой № 10 трехфакторного эксперимента (таблица 2).

$$Y = -3,97281 + 1,31352 \cdot x_1 + 169,777 \cdot x_2 - 0,00124279 \cdot x_1^2 + 0,0300468 \cdot x_1 \cdot x_2 - 45,6135 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

Данные дисперсионного анализа двухфакторного эксперимента ($R^2 \approx 88 \%$, $CV = 1,9 \%$) показывают высокую степень точности и надежности экспериментальных значений с учетом двух переменных.

Параметры, которые рекомендует программа Statgraphics Plus 5.0 для оптимизации технологического процесса без добавления воды, составляют:

- продолжительность гидролиза – 414 мин;
- количество ферментного препарата – 1,72 %.

Таким образом, при гидролизе дробленой анадары без добавления воды количество алкалазы совпадает с рекомендуемым значением для гидролиза с добавлением 3 % воды (1,7 % алкалазы). При этом продолжительность гидролиза уменьшена с 449 мин до 414 мин.

Следует отметить, что рекомендуемая продолжительность гидролиза в течение 414 мин (6,9 ч) неизбежно приведет к возрастанию энергозатрат и себестоимости продукции. В связи с этим представ-

накопление ФТА влияет прежде всего продолжительность процесса (x_1) и количество фермента (x_2) (рис. 2).

Учитывая, что гидролизуемая дробленая анадара включает полостную жидкость, для определения целесообразности добавления 3% воды в гидролизуемую дробленую анадару был проведен двухфакторный эксперимент, при котором в качестве переменных величин были взяты продолжительность гидролиза (x_1) и количество фермента (x_2). Гидро модуль не учитывался в эксперименте, т.е. перед гидролизом вода не добавлялась в дробленую анадару. Температура гидролиза, как и в первом эксперименте, составляла 55 ± 2 °C, pH соответствовала естественному значению сырья, равному 6,5 ед. Планирование двухфакторного эксперимента осуществляли аналогично трехфакторному эксперименту (таблица 1).

Результаты реализации двухфакторного ортогонального плана для фермент-субстратной системы представлены в таблице 4.

Получено уравнение регрессии, описывающее накопление ФТА в гидролизате в зависимости от продолжительности процесса (X_1) и количества фермента (X_2) (формула 2).

Интерес представляют точка № 13 (таблица 2) и точки № 9 и № 10 (таблица 4), согласно которым предусматривается использование 1,3 % фермента в течение 230 мин (3,8 ч). Для точки № 13 с добавлением 3 % воды (таблица 2) накопление ФТА составляет 390 мг% ($СГ = 42 \%$). Для точек № 9 и № 10 без гидро модуля (таблица 4) ФТА составляет 317 мг% ($СГ = 40,4 \%$) и 325 мг% ($СГ = 39,1 \%$) соответственно.

На основании анализа полученных данных в качестве рационального режима гидролиза дробленой анадары со створками раковин может быть рекомендован режим без гидро модуля продолжительностью 230 мин с использованием алкалазы в количестве 1,3%.

Характеристика гидролизата, полученного по данному режиму из дробленой анадары со створками раковин, представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика гидролизата из дробленной анадары со створками раковин (продолжительность гидролиза 230 мин, количество алкалазы 1,3 %)

Table 5 – Characterization of the hydrolysate derived from ground half-crenated ark with shells (hydrolysis duration 230 minutes, alcalase enzyme dosage 1.3 %)

Наименование показателя	Характеристика гидролизата	
	после гидролиза	после концентрирования
Сухие вещества, %	9,3±0,6	49,2±1,1
Белок, %	5,4±0,7	29,6±0,6
Жир, %	0,1±0,02	0,9±0,2
Зола, %	2,0±0,15	9,0±0,8
Углеводы, %	0,4±0,03	9,7±0,6
ФТА, мг%	345,5±32,8	2010±41,6
СГ, %	41,3±2,0	44,1±1,4

Концентрированный гидролизат анадары характеризуется содержанием сухих веществ на уровне 50 %, белка – 30 %, высокой степенью гидролиза (44,1±1,4 мг%), обладает приятным вкусом и запахом, свойственным для гидролизатов из моллюсков, без наличия горечи.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение аминокислотного состава, молекулярно-массового распределения пептидных фракций, наличия эссенциальных минеральных элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием методологии поверхности отклика показано, что гидромодуль оказывает незначительное влияние на степень накопления формольно-титруемого азота при гидролизе дробленной анадары со створками раковин, оптимальные параметры гидролиза составили: продолжительность гидролиза – 414 мин, количество фермента алкалазы – 1,3 %.

Для снижения энергозатрат при гидролизе в течение почти 7 ч (414 мин) предлагается следующий рациональный режим гидролиза: продолжительность гидролиза – 230 мин, количество фермента алкалазы – 1,3 %.

Концентрированный до ≈50 % содержания сухих веществ гидролизат, полученный по указанному рациональному режиму из дробленной анадары со створками раковин, характеризуется достаточно высоким содержанием белка (≈30 %) и степенью гидролиза 44,1±1,4 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирзоян А.В., Саенко Е.М., Дудкин С.И. Сырьевая база промысловых беспозвоночных в Азовском море и динамика ее освоения в 2000–2022 гг. // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 6, № 4. С. 51–67. DOI: 10.47921/2619-1024_2023_6_4_51.
2. Терентьев А.С. Биоценоз *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в Керченском проливе (Азово-Черноморский бассейн) // Экосистемы. 2023. № 36. С. 87–101. DOI: 10.5281/zenodo.10374274.
3. *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) – перспективный объект переработки Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна / З.Е. Ушакова, Л.М. Есина, И.А. Белякова, Д.В. Штенина // Рыбное хозяйство. 2025. 1(4): С. 43–51. DOI: 10.36038/0131-6184-2025-4-43-51.
4. Фракционный состав белков мягких тканей анадары и его изменения при термообработке /

А.С. Гришин, Т.А. Давлетшина, С.В. Леваньков [и др.] // Изв. ТИПРО. 2004. Т. 138. С. 368–380.

5. Optimization of enzymatic hydrolysis by alcalase and flavourzyme to enhance the antioxidant properties of jasmine rice bran protein hydrolysate / K Hunsakul, T. Laokuldilok, V. Sakdatorn [et al.] // Sci Rep. 2022. Vol. 12:12582. DOI: 10.1038/s41598-022-16821-z.

6. Optimization of enzymatic hydrolysis of visceral waste proteins of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) / M. Ovissipour, A.A. Kenari, A. Motamedzadegan [et al.] // Food Bioprocess Technol. 2012. Vol. 5. PP. 696–705. DOI: 10.1007/s11947-010-0357-x.

7. Ферментативный гидролиз соевого белка / Д.В. Соколов, Б.А. Болхонов, С.Д. Жамсаранова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 1. С. 86–96. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-1-2418. EDN DHXSAX.

8. Review: Enzymatic hydrolysates of fish by-products: technological advantages and bioactive properties / S.S Robalo, L.P. da Silva, C.R. De Menezes [et al.] // Ciência Rural. 2024. Vol. 54. DOI: 10.1590/0103-8478cr20230523.

9. Разумовская Р.Г. Получение гидролизатов, белковой массы и концентратов из мелкой рыбы // Рыбное хозяйство. 1973. № 6. С. 66–69.

10. Мухин В.А., Новиков В.Ю. Ферментативные белковые гидролизаты тканей морских гидробионтов: получение, свойства и практическое использование. Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2001. 97 с.

Информация об авторах

Л. М. Есина – заведующий сектором технологий переработки водных биоресурсов «Южный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Южный»).

З. Е. Ушакова – специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов «Южный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Южный»).

О. Н. Кривонос – главный специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов «Южный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Южный»).

И. А. Белякова – специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов «Южный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Южный»).

Д. В. Штенина – специалист сектора технологий переработки водных биоресурсов «Южный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Южный»).

REFERENCES

1. Mirzoyan, A.V., Sayenko, E.M. & Dudkin, S.I. (2023). Exploitable resources of commercial invertebrates in the Azov Sea and the dynamics of their exploi-

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА АНАДАРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА

tation in 2000-2022. *Aquatic Bioresources and Environment*. (4). 51-67. (In Russ.). DOI: 10.47921/2619-1024_2023_6_4_51. EDN: DWJMXZ.

2. Terentyev, A.S. (2023). Biocoenosis of the ark clam *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) in the Kerch Strait (Azov and Black Sea Basin). *Ecosystems*. (36). 87-101. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.10374274.

3. Ushakova, Z.E., Esina, L.M., Belyakova, I.A. & Shtenina, D.V. (2025). *Anadara Kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) as promising subject for food processing in the Ason and Black sea fishery basin. *Fisheries*. (4). 43-51. (In Russ.). DOI: 10.36038/0131-6184-2025-4-43-51.

4. Grishin, A.S., Davletshina, T.A., Levankov, S.V. & Shulgina, L.V. (2004). Fractional structure of proteins of anadara muscular tissue and its changes at heat processing. *Proceedings of TINRO*. (Vol 138). 368-380. (In Russ.).

5. Hunsakul, K., Laokuldilok, T., Sakdatorn, V., Wannaporn Klangpetch & Utama-ang, N. (2022). Optimization of enzymatic hydrolysis by alcalase and flavourzyme to enhance the antioxidant properties of jasmine rice bran protein hydrolysate. *Sci Rep*. (Vol. 12:12582). DOI: 10.1038/s41598-022-16821-z.

6. Ovissipour, M., Kenari, A.A., Motamedzadegan, A. & Nazari, R.M. (2012). Optimization of enzymatic hydrolysis of visceral waste proteins of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Bioprocess Technol*. (Vol. 5.). 696-705. DOI: 10.1007/s11947-010-0357-x.

7. Sokolov, D.V., Bolkhonov, B.A., Zhamsaranova, S.D., Lebedeva, S.N. & Bazhenova, B.N. (2023). Enzymatic hydrolysis of soy protein. *Food Processing : Techniques and Technology* (1). 86-96. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2023-1-2418.

8. Robalo, S.S., Da Silva, L.P., De Menezes, C.R.,

Barin, J., Campagnol, B.P.C. & Cichoski, A.J. (2024). Review: Enzymatic hydrolysates of fish by-products: technological advantages and bioactive properties. *Ciência Rural*. (Vol. 54). DOI: 10.1590/0103-8478cr20230523.

9. Razumovskaya, R.G. (1973). Producing hydrolyzates, protein mass and concentrates from small fish. *Fisheries*. (6). 66-69. (In Russ.).

10. Mukhin, V.A. & Novikov, V.Yu. (2001). Enzymatic protein hydrolysates of tissues of marine aquatic living resources: production, properties, and practical application. Murmansk : PINRO Publ. (In Russ.).

Information about the authors

L.M. Esina - Head of the Sector for Processing Technology of Aquatic Biological Resources of the Southern Branch of the SRC RF FSBSI "VNIRO" ("Southern").

Z.E. Ushakova - Specialist of the Sector for Processing Technology of Aquatic Biological Resources of the Southern Branch of the SRC RF FSBSI "VNIRO" ("Southern").

O.N. Krivonos - Chief Specialist of the Sector for Processing Technology of Aquatic Biological Resources of the Southern Branch of the SRC RF FSBSI VNIRO (Southern).

I.A. Belyakova - Specialist of the Sector for Processing Technology of Aquatic Biological Resources of the Southern Branch of the SRC RF FSBSI "VNIRO" ("Southern").

D.V. Shtenina - Specialist of the Sector for Processing Technology of Aquatic Biological Resources of the Southern Branch of the SRC RF FSBSI "VNIRO" ("Southern").

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.