

Научная статья

УДК 574.584(268.56)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-976-987

EDN: WCSGPA



**ТРОФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЛАГИЧЕСКОГО
И ДОННОГО НЕКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ МАССАХ
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ
ПО ДАННЫМ $\delta^{15}\text{N}$ И $\delta^{13}\text{C}$**

К.М. Горбатенко¹, И.В. Мельников², А.П. Педченко^{3*}

^{1,2} Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

³ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Исследован изотопный состав углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) в пелагических и донных рыбах в берингоморской и арктической водных массах западной части Чукотского моря. Акватория наблюдений была условно разделена на южный и северный районы относительно 71° с.ш. Изотопный состав пелагического и донного нектона в северном районе Чукотского моря характеризовался более высокими значениями $\delta^{13}\text{C}$ (до 2 ‰) и низкими значениями $\delta^{15}\text{N}$ (до 1 ‰) по сравнению с таковыми в южном районе. Установлено, что в южном районе Чукотского моря, в границах берингоморских водных масс, более 90 % исследованных видов донных рыб замыкаются на донную пищевую сеть. В северном районе моря, в границах арктических водных масс, все образцы донных рыб характеризуются минимальным насыщением тяжелым углеродом $\delta^{13}\text{C}$, сопоставимым с таковым в пробах пелагических рыб, что указывает на существенную роль пелагических объектов в питании исследованных видов донного нектона.

Ключевые слова: Арктический бассейн, нектон, кормовые организмы, стабильные изотопы, азот, углерод

Для цитирования: Горбатенко К.М., Мельников И.В., Педченко А.П. Трофические характеристики пелагического и донного нектона в различных водных массах в западной части Чукотского моря по данным $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 4. — С. 976–987. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-976-987. EDN: WCSGPA.

* Горбатенко Константин Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, konstantin.gorbatenko@tinro.ru, ORCID 0009-0003-8385-7770; Мельников Игорь Владимирович, кандидат биологических наук, заместитель руководителя филиала, igor.melnikov@tinro.ru, ORCID 0000-0002-2327-2979; Педченко Андрей Петрович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, pedchenko@vniro.ru, ORCID 0009-0003-5481-1263.

© Горбатенко К.М., Мельников И.В., Педченко А.П., 2023

Trophic characteristics of pelagic and bottom nekton in certain water masses in the western Chukchi Sea, by $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ data

Konstantin M. Gorbatenko*, **Igor V. Melnikov****, **Andrey P. Pedchenko*****

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

*** Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,

19, Okružhnoj proezd, Moscow, 105187, Russia

* D.Biol., principal researcher, konstantin.gorbatenko@tinro, ORCID 0009-0003-8385-7770

** Ph.D., deputy head, igor.melnikov@tinro.ru, ORCID 0000-0002-2327-2979

*** Ph.D., leading researcher, pedchenko@vniro.ru, ORCID 0009-0003-5481-1263

Abstract. To compare the trophic characteristics of pelagic- and bottom-dwelling fish in the western Chukchi Sea, isotopic composition of carbon and nitrogen ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) is considered separately for the Subarctic water mass (invaded from the Bering Sea) and local Arctic water mass. In summer of 2018 and 2019, the proper water mass occupied mostly the area southward from 71°N and the latter one — northward from this latitude. The isotopic composition of both pelagic and bottom nekton in the southern area was characterized by higher values of $\delta^{13}\text{C}$ (up to 2 % higher) and low values of $\delta^{15}\text{N}$ (up to 1 % lower) in comparison with those in the northern area. That was interpreted that in the southern area, within the water from the Bering Sea, more than 90 % of the sampled bottom fish species were linked with prey from the bottom community. In the northern area, within the Arctic water, all samples of bottom fish were characterized by minimal content of heavy carbon $\delta^{13}\text{C}$ isotope, comparable with the values in samples of pelagic fish that indicated a significant role of pelagic prey in nutrition of the bottom nekton.

Keywords: Arctic, nekton, prey, stable isotope, nitrogen, carbon

For citation: Gorbatenko K.M., Melnikov I.V., Pedchenko A.P. Trophic characteristics of pelagic and bottom nekton in certain water masses in the western Chukchi Sea, by $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ data, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 976–987. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-976-987. EDN: WCSGPA.

Введение

На акватории Чукотского моря наблюдается влияние как арктической, так и бореальной фаун [Бродский и др., 1983]. Южная и центральная части моря находятся под влиянием берингоморских вод, поступающих через Берингов пролив, западная — вод Восточно-Сибирского моря в результате их переноса прибрежным Сибирским течением, северная — обширного распределения арктической водной массы [Фигуркин, Слабинский, 2012; Орлов и др., 2019, 2020].

Ихтиофауна Арктического бассейна, включая Чукотское море, бедна в видовом отношении, но тем не менее уникальна по своему составу и чувствительна к климатическим и антропогенным воздействиям, что требует постоянного мониторинга экосистем. Основным биотопом для рыб арктических морей является бенталь, где постоянно живут от 36 до 80 % всех видов гидробионтов, среди которых по трофической принадлежности преобладают бентофаги. Исследования ВНИРО выявили высокую встречаемость в уловах (80–90 %) таких промысловых видов рыб, как минтай *Gadus chalcogrammus*, сайка *Boreogadus saida* и северная палтусовидная камбала *Hippoglossoides robustus*. Наиболее массовым видом в Чукотском море является сайка, а в южной части — минтай [Орлов и др., 2019].

Большая часть рыб характеризуются смешанным питанием, причем в течение жизненного цикла многие виды имеют разный трофический статус. Как показали предыдущие исследования [DeNiro, Epstein, 1978; Hobson, Welch, 1992; Jackson et al., 2011], анализ изотопного состава углерода и азота гидробионтов является одним из успешных подходов при изучении структуры и функционирования пелагических и донных сообществ.

Океанографические условия Чукотского моря в последние годы характеризовались низкими показателями общей ледовитости в летние месяцы*. Впервые, в связи с потеплением и отсутствием льда в августе 2019 г., были выполнены комплексные научные исследования в российской зоне северо-западной части Чукотского моря [Орлов и др., 2019], аналогичные проведенным ранее в южной и юго-западной частях моря.

Цель настоящей работы — определение при помощи изотопов трофического статуса у доминирующих видов пелагических и донных рыб в юго- и северо-западной частях Чукотского моря, находящихся в разных водных массах.

Материалы и методы

Материалы (образцы мягких тканей отдельных видов гидробионтов) собраны в Чукотском море в 2018 (с 31.08 по 10.09) и 2019 гг. (с 11.08 по 03.09) (рис. 1).

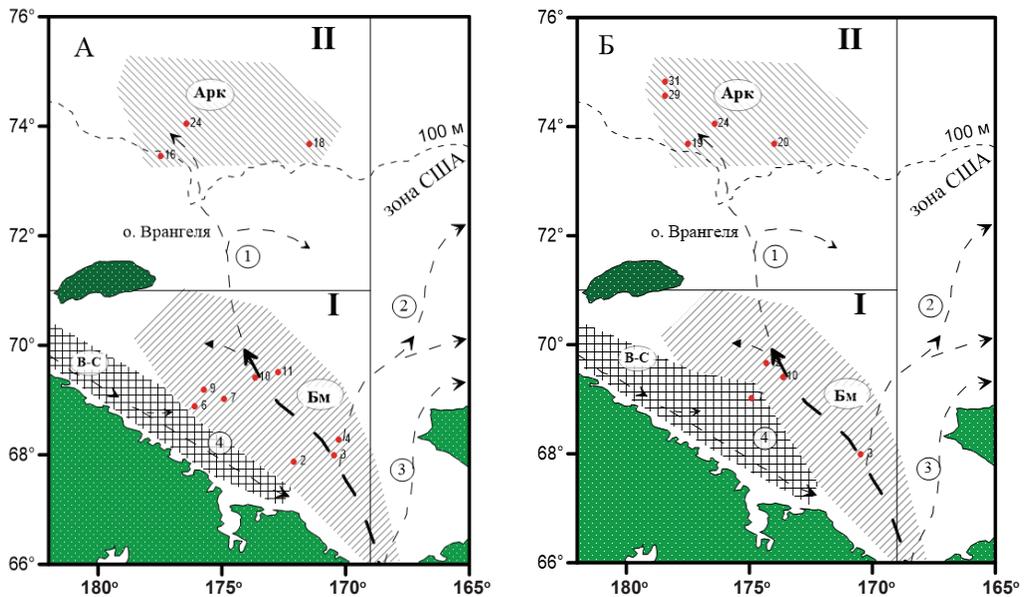


Рис. 1. Положение основных течений водных масс и точек отбора проб на изотопы пелагического (А, 2018 г.) и донного (Б, 2019 г.) nekтона в Чукотском море: 1 — течение желоба Геральда; 2 — течение желоба Центрального; 3 — прибрежное Аляскинское; 4 — прибрежное Сибирское течение; В-С — восточносибирская, Бм — берингоморская, Арк — арктическая водные массы; I — южный, II — северный районы

Fig. 1. Scheme of the main currents and water masses in the Chukchi Sea: 1 — Herald Trough Current; 2 — Central Trough Current; 3 — Alaska Coastal Current; 4 — Siberian Coastal Current; B-C — East-Siberian water masses; Бм — Bering Sea water masses, Арк — Arctic water masses; I — southwestern area, II — northwestern area. Samplings of pelagic (А, 2018) and bottom (Б, 2019) nekton for isotope analysis are shown

Для анализа стабильных изотопов углерода и азота у nekтонных видов с дорзальной стороны брали мышечную ткань массой 3–10 г, которую промывали дистиллированной водой для удаления солей, высушивали в сушильном шкафу в течение 12–24 ч при температуре 60 °С до полного обезвоживания и хранили на борту судна при температуре –18 °С. Для каждого вида nekтона отмечали место сбора, вид, длину, массу, также пол, стадию зрелости, содержимое желудка.

Пробы перетирали с помощью корундовой ступки и пестика, снова высушивали и использовали для анализа. Из исследуемых образцов путем экстракции удаляли ли-

* Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. III квартал 2019 г. СПб.: ААНИИ, 2019. 78 с.

пидную фракцию, чтобы исключить влияние липидов при интерпретации межвидовых вариаций $\delta^{13}\text{C}$ нектона. Липиды, накапливающиеся в организмах, как правило, существенно обеднены изотопом ^{13}C [DeNiro, Epstein, 1978], что приводит к значительным различиям в $\delta^{13}\text{C}$ между гидробионтами со сходным изотопным составом пищи, но разным содержанием жира [Sato et al., 2002].

Состав стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в органическом веществе определен в 43 пробах, в том числе в 27 пробах отдельных видов пелагического нектона и 16 пробах представителей донного нектона, собранных в Чукотском море в 2018 и 2019 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Количество проб на изотопный состав пелагического и донного нектона, собранных в Чукотском море в 2018 и 2019 гг.

Table 1

Number of samples for isotopic composition of pelagic and bottom nekton collected in the Chukchi Sea in 2018 and 2019

Объект исследований	Район		Σ
	I	II	
Пелагический нектон			
Gadidae			
<i>Boreogadus saida</i>	11	4	15
<i>Gadus chalcogrammus</i>	6	1	7
Clupeidae			
<i>Clupea pallasii</i>	3		3
Osmeridae			
<i>Mallotus villosus</i>	2		2
Всего	22	5	27
Донный нектон			
Psychrolutidae			
<i>Gymnocanthus tricuspis</i>	1		1
<i>Myoxocephalus jaok</i>	1		1
<i>Myoxocephalus verrucosus</i>	1		1
Pleuronectidae			
<i>Hippoglossoides robustus</i>	2	1	3
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>		2	2
Lumpenidae			
<i>Anisarchus medius</i>	1	1	2
<i>Lumpenus sagitta</i>	1		1
<i>Leptoclinus maculatus</i>	2		2
<i>Lumpenus fabricii</i>	1		1
Octopodidae			
<i>Octopus dofleini</i>		2	2
Всего	10	6	16
Сумма	32	11	43

Данные об изотопном составе образцов получены методом прецизионной изотопной масс-спектрометрии с использованием аналитической системы, состоящей из элементного анализатора органического вещества Flash 2000, соединенного интерфейсом ConFlo-IV с прецизионным изотопным масс-спектрометром MAT-253 (Термоквест, Германия). Относительное содержание изотопов ^{13}C и ^{15}N в образцах определяли в общепринятой форме как величины отклонений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в промилле от соответствующего международного стандарта изотопного состава:

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{образца}} - R_{\text{стандарта}}) / R_{\text{стандарта}}] \cdot 1000,$$

где δX — величины $\delta^{13}\text{C}$ или $\delta^{15}\text{N}$, а R — отношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ или $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

Ввиду отсутствия прямых измерений изотопного состава продуцентов за основание данной пищевой цепи Чукотского моря приняты двустворчатые моллюски-фильтраторы *Serripes groenlandicus* с величиной $\delta^{15}\text{N}$ — 8,4 ‰, поскольку среди исследованных видов консументов они имели наименьшие значения $\delta^{15}\text{N}$ и с наибольшей вероятностью могут считаться консументами первого порядка.

Результаты масс-спектрометрических измерений были калиброваны с помощью международных изотопных стандартов (Международное агентство по атомной энергии, Вена). Воспроизводимость результатов измерений соотношений стабильных изотопов для данной серии образцов составляла $\pm 0,10$ ‰ для величин $\delta^{15}\text{N}$ и $\pm 0,08$ ‰ для величин $\delta^{13}\text{C}$.

Результаты и их обсуждение

Среди представителей нектона Чукотского моря были исследованы 4 доминирующих вида из пелагического сообщества и 10 видов из донного (табл. 1).

Пелагический нектон. Данные по изотопному составу азота и углерода пелагических рыб систематизированы по районам исследования (табл. 2). Изотопный состав углерода исследованных рыб $\delta^{13}\text{C}$ Чукотского моря в южном районе изменялся от –18,1 до –19,8 ‰, в северном — от –19,9 до –20,2 ‰ (табл. 2). Малый размах вариаций изотопных показателей углерода по районам исследования указывает на доминирование одной водной массы в каждом из них: северный район находится под влиянием арктических водных масс, а южный — под влиянием берингоморских вод.

Таблица 2

Средние значения стабильных изотопов углерода и азота пелагического нектона Чукотского моря

Table 2

Mean values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ for pelagic nekton in the Chukchi Sea

Объект исследования	Длина, см	Район					
		I			II		
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	n
Gadidae							
<i>Boreogadus saida</i>	< 10	–18,1	13,3	1	–20,2	14,0	1
	10–15	–18,5	15,8	4	–19,9	15,9	1
	15–20	–18,4	16,6	5	–20,1	17,2	1
	> 20	–18,2	18,5	1	–19,9	19,1	1
<i>Gadus chalcogrammus</i>	< 10	–18,1	13,1	1			
	10–15	–18,7	15,2	2	–20,0	15,5	1
	50–60	–18,4	16,3	2			
	> 60	–18,3	17,4	1			
Clupeidae							
<i>Clupea pallasii</i>	< 15	–19,5	15,3	1			
	> 15	–19,6	15,6	2			
Osmeridae							
<i>Mallotus villosus</i>	15–16	–19,8	15,9	2			

Значения $\delta^{15}\text{N}$ в северном и южном районах варьировали в широких пределах — соответственно от 13,1 до 18,5 ‰ и от 14,0 до 19,1 ‰ (табл. 2), демонстрируя в первую очередь межвидовую и внутривидовую изменчивость, связанную с типом питания. Самые низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ повсеместно отмечены у сеголеток минтая (менее 10 см), а высокие — у взрослых особей и у сайки (более 20 см). Различия по $\delta^{15}\text{N}$ у разновозрастных особей сайки и минтая составляли 5,2 и 4,3 ‰, что соответствует двум трофическим уровням [Горбатенко и др., 2021], так как показатель $\delta^{15}\text{N}$ из-за сравнительно большого обогащения на каждом уровне пищевой цепи (3,4 ‰) является общепринятым индикатором трофического статуса, занимаемого консументом [DeNiro, Epstein, 1978;

Minagawa, Wada, 1984]. Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают степень хищничества и, соответственно, значимость в пищевом рационе хищников консументов 1-, 2- и даже 3-го порядков. У разноразмерной сайки и минтая, по мере увеличения их длины, прослеживалась четкая зависимость между изменениями значений $\delta^{15}\text{N}$ и содержанием в их рационе планктона, бентоса и нектона (табл. 3).

Таблица 3

Изменение $\delta^{15}\text{N}$ и состава пищи (%) разноразмерной сайки и минтая в Охотском море (по данным из :статьи А.М. Орлова с соавторами [2020], с дополнениями и изменениями)

Table 3

Changes of $\delta^{15}\text{N}$ and food composition for polar cod in the Chukchi Sea and pollock in the Okhotsk Sea (from: Orlov et al., 2020, with additions)

Район	I				II				I				II	
	Сайка										Минтай			
Длина, см	< 10	10–15	15–20	20–25	5–10	10–15	15–20	20–25	< 10	10–15	50–60	> 60	10–15	
Состав пищи														
Копеподы	85	45	46	15	39	26	12	–	70	60	12		56	
Эвфаузииды	15	25	28	10	25	21	14	3	30	40	15	15	22	
Амфиподы		15	8	30	11	15	8	1					15	
Декаподы		3	10	15	–	–	2				35	25		
Сагитты		5			5	5	10						2	
Мизиды		7		5	3	3								
Ойкоплевры					10	8	5	2					5	
Рыба				25	–	22	40	84			35	60		
Остракоды					–	–	8	6						
Прочие		0	8		7	0	1	4			3			
Значения $\delta^{15}\text{N}$	13,3	15,8	16,6	18,5	14,0	15,9	17,2	19,1	13,1	15,2	16,3	17,4	15,5	

Ранее отмечено, что с увеличением размера рыб спектр их пищевого рациона расширялся, при этом в питании увеличивалась доля нектона и бентоса [Горбатенко и др., 2021]. Вследствие этого при дальнейшем анализе трофических связей в пелагическом сообществе учитывали размеры исследуемых особей с целью выявления различий в трофических связях у доминирующих видов нектона в Чукотском море.

На рис. 2 показано, что основные различия в исследованных районах Чукотского моря были обусловлены более высокими значениями $\delta^{13}\text{C}$ (около 2 ‰) и низкими значениями $\delta^{15}\text{N}$ (около 1 ‰) нектона в южном районе, где преобладали беринговоморские воды. Соответственно, значения изотопного состава нектона из южной части Чукотского моря были близки к беринговоморским изотопным характеристикам северной части Берингова моря [Горбатенко и др., 2008]. Известно, что образцы зоопланктона и зообентоса из южной части Чукотского моря по изотопному составу углерода были также на 1,5–2,5 ‰ тяжелее, а по азоту на 1,0–3,0 ‰ легче, чем из его северных и западных районов [Одинцов, Кияшко, 2018; Горбатенко и др., 2021].

Таким образом, группы пелагических рыб из разных районов хорошо различались между собой по изотопным показателям и занимали в двухмерном пространстве $\delta^{15}\text{N}/\delta^{13}\text{C}$ характерные области (рис. 2).

Донный нектон. В южном районе на изотопный анализ были взяты 7 видов донных рыб, а в северном — 3 вида рыб и 1 вид осьминога (табл. 4).

Исследованные виды донного нектона в зависимости от места обитания имели различный изотопный состав. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в южном районе изменялись в пределах от –17,3 до –18,1 ‰, в северном районе у рыб наблюдали более низкие значения этого показателя — от –18,7 до –20,6 ‰. У гигантского осьминога *Octopus dofleini* в северном районе отмечено максимальное насыщение тяжелым углеродом $\delta^{13}\text{C}$, которое составило –17,7 ‰, что характерно для типично донных гидробионтов, которые базируются на донной пищевой цепи [Горбатенко и др., 2021]. Насыщение

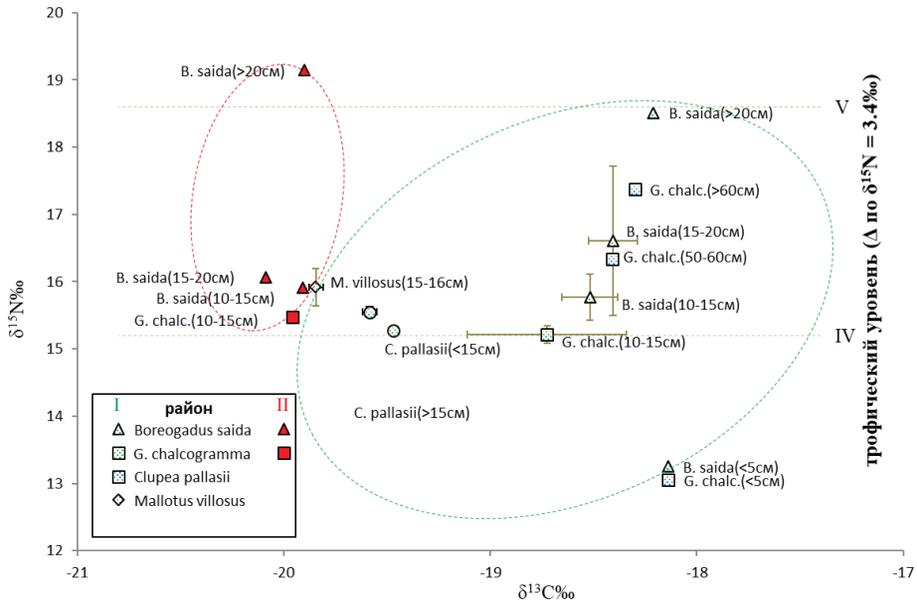


Рис. 2. Изотопный состав пелагического nekтона в двух районах российской ИЭЗ Чукотского моря

Fig. 2. Isotopic composition for pelagic nekton in two areas of the western Chukchi Sea

Таблица 4

Средние значения стабильных изотопов углерода и азота донного nekтона Чукотского моря
Table 4

Mean values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ for bottom nekton in the Chukchi Sea

Объект исследования	Длина, см	Районы					
		I			II		
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	n
Psychrolutidae							
<i>Gymnocanthus tricuspis</i>	15	-18,1	16,8	1			
<i>Myoxocephalus jaok</i>	20	-17,6	17,0	1			
<i>Myoxocephalus verrucosus</i>	16	-17,5	17,4	1			
Pleuronectidae							
<i>Hippoglossoides robustus</i>	До 24	-17,6	15,8	2	-19,7	18,4	1
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	19				-20,6	16,5	1
	38				-20,6	18,1	1
Lumpenidae							
<i>Anisarchus medius</i>	13	-17,6	17,8	1	-18,7	18,1	1
	21	-17,4	14,7	1			
<i>Leptoclinius maculatus</i>	12-16	-17,3	16,9	2			
<i>Lumpenus fabricii</i>	12	-17,5	16,8	1			
Octopodidae							
<i>Octopus dofeini</i>	6				-18,2	16,5	1
	16				-17,5	17,6	1

тяжелым азотом у донных рыб в южном районе изменялось от 15,8 до 17,8 ‰, в северном районе значения $\delta^{15}\text{N}$ были выше и изменялись от 16,5 до 18,4 ‰ (табл. 4). Сопоставление данных по изотопному составу у донных рыб из двух выделенных районов возможно только по палтусовидной камбале *Hippoglossoides robustus* и ильному люмпену *Anisarchus medius* длиной 13 см (табл. 4). У палтусовидной камбалы, которая повсеместно встречалась вместе с крупным минтаем и сайкой в донном сообществе, в южном районе значения $\delta^{13}\text{C}$ были на 2,1 ‰ выше, чем в северном,

при этом значения $\delta^{15}\text{N}$ были на 2,6 ‰ ниже таковых в северном районе. У молодой ильменки разница в южном и северном районах была менее выражена по $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ — соответственно $-1,1$ и $0,3$ ‰.

Обобщенные данные по изотопному составу углерода и азота донного nekтона, представленные на рис. 3, позволили выделить две группы. В первую вошли виды из южной части Чукотского моря с наиболее высокими значениями $\delta^{13}\text{C}$ и относительно низкими значениями $\delta^{15}\text{N}$. Во вторую — донный nekton из северной части моря с относительно низкими значениями $\delta^{13}\text{C}$ и относительно высокими значениями $\delta^{15}\text{N}$. В данной группе выделены осьминог с максимальным насыщением $\delta^{13}\text{C}$ и черный палтус *Reinhardtius hippoglossoides* с минимальным $\delta^{13}\text{C}$ (рис. 3).

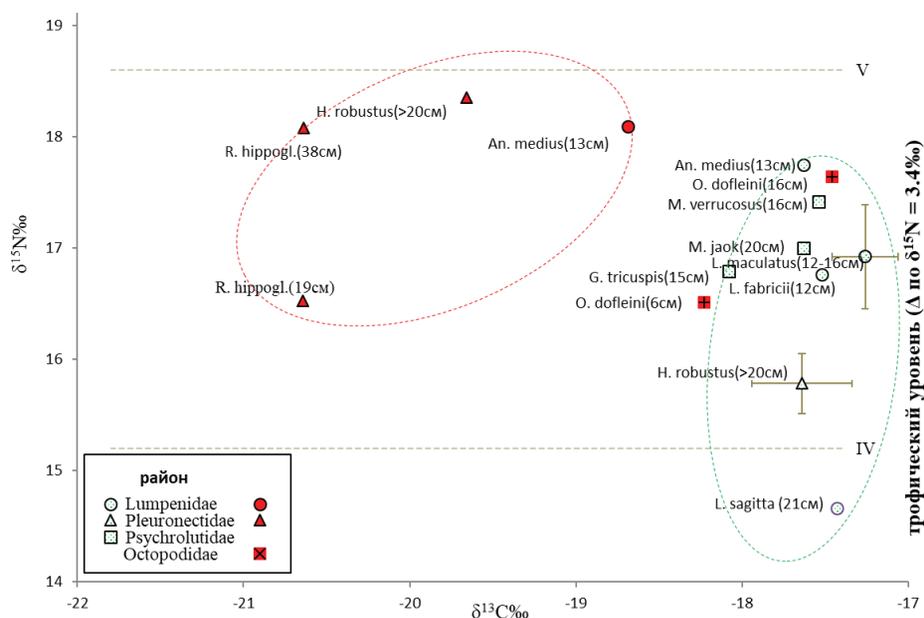


Рис. 3. Изотопный состав донного nekтона в двух районах российской ИЭЗ Чукотского моря

Fig. 3. Isotopic composition for bottom nekton in two areas of the western Chukchi Sea

Данные изотопного анализа $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ (табл. 4) показали, что *Octopus dofleini* относится к консументам третьего порядка и основу его пищи составляют донные животные ($\delta^{13}\text{C}$ от $-18,2$ до $17,5$ ‰). Это подтверждается данными ранее проведенных трофологических исследований, согласно которым основными объектами питания осьминога были иглокожие, ракообразные, моллюски, рыбы и другие донные животные [Катугин и др., 2010]. Показатели $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ у разноразмерного черного палтуса позволяют считать, что вид относится к консументам 3-го порядка ($TU_k = 4,4-4,8$) и основу его пищи составляют пелагические животные ($\delta^{13}\text{C}$ менее -20 ‰). Вывод подтвердили данные трофических исследований черного палтуса в различных районах Чукотского моря, согласно которым более чем в 90 % случаев в его желудках отмечали пелагические объекты (молодь сайки и минтая) [Горбатенко и др., 2008, 2015].

Пелагические рыбы, обитающие в южном районе западной части Чукотского моря, в берингоморских водных массах, значительно отличались от донных рыб по изотопному составу углерода (рис. 4). Относительная граница, разделяющая пелагические и донные трофические сети, как и в Беринговом море, соответствовала среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ $-17,5$ ‰ [Горбатенко и др., 2008]. Таким образом, по изотопным показателям более 90 % исследованных видов донных рыб в данном районе замыкаются на донную пищевую сеть.

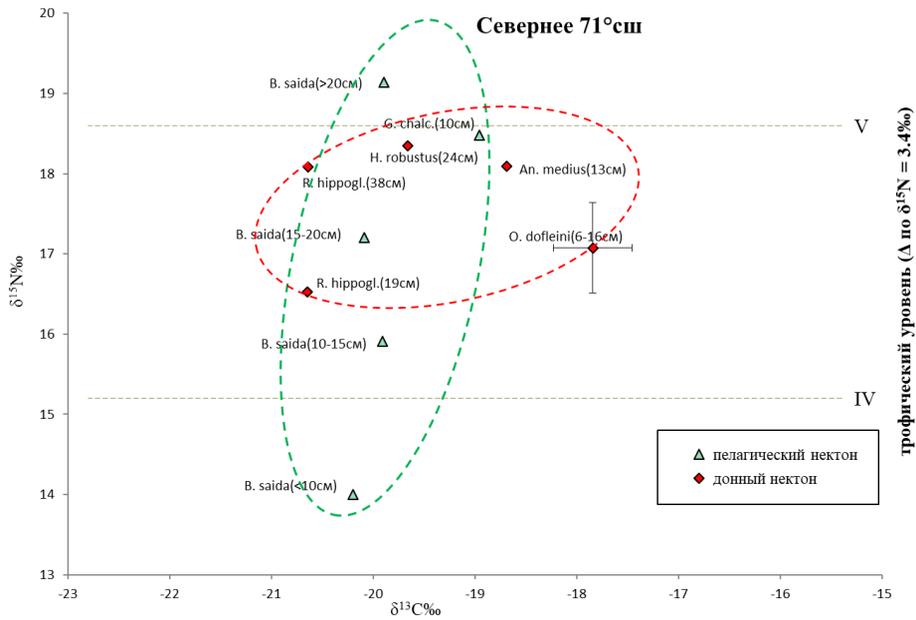


Рис. 4. Изотопный состав пелагических и донных рыб в южном районе Чукотского моря (\pm SE)

Fig. 4. Isotopic composition for pelagic and benthic fish in the southwestern Chukchi Sea (\pm SE)

Исследования изотопного состава представителей пелагических и донных видов рыб в северном районе показали, что различия по значениям $\delta^{13}\text{C}$ между ними менее выражены, чем южном районе моря (рис. 5). Более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ позволяют говорить о существенной роли пелагических объектов в питании исследованных видов донного нектона (черный палтус, палтусовидная камбала (24 см), молодь ильного люмпена (13 см)). Это положение подтвердили данные по

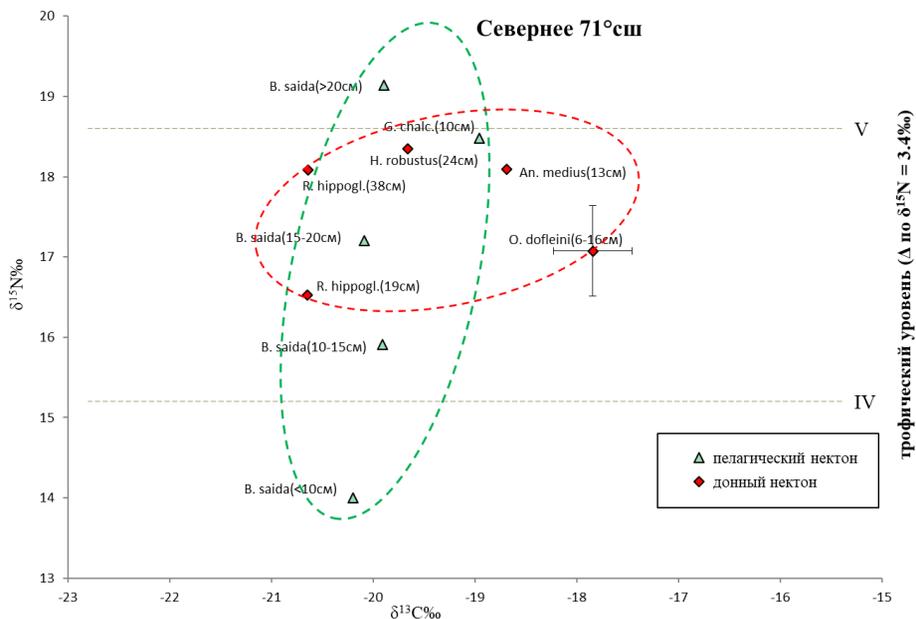


Рис. 5. Изотопный состав пелагического и донного нектона в северном районе Чукотского моря (\pm SE)

Fig. 5. Isotopic composition for pelagic and bottom nekton in northwestern Chukchi Sea (\pm SE)

питанию рыб [Горбатенко и др., 2008; Орлов и др., 2020]. Небольшая доля донных кормовых объектов в составе питания донных рыб, возможно, объясняется недостатком зообентоса на исследованных участках моря. Ранее аналогичную ситуацию отмечали в глубоководной части Охотского моря, где более 70 % донных рыб откармливались пелагическими объектами [Горбатенко и др., 2015]. У осьминогов в отличие от рыб наблюдалось высокое насыщение $\delta^{13}\text{C}$, т.е. основу их питания составляли донные животные.

Выводы

Выявлены различия изотопного состава пелагического и донного nekтона на участках распределения разных водных масс в западной части Чукотском море. На участках распределения берингоморских вод в южном районе моря (к югу от 71° с.ш.) отмечали более высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ (до 2 ‰) и низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ (до 1 ‰), чем в северном районе на участках распределения арктических водных масс.

У пелагических рыб в южном районе значения $\delta^{13}\text{C}$ изменялись от $-18,1$ до $-19,8$ ‰, в северном — от $-19,9$ до $-20,2$ ‰. Малый размах вариаций изотопных показателей углерода по районам исследования указывает на доминирование одной водной массы в выделенных районах. Значения $\delta^{15}\text{N}$ в северном и южном районах варьировали в широких пределах — соответственно от 13,1 до 18,5 ‰ и от 14,0 до 19,1 ‰, демонстрируя в первую очередь межвидовую и внутривидовую изменчивость, связанную с типом питания.

Значения $\delta^{13}\text{C}$ у донных рыб в южном районе изменялись в пределах от $-17,3$ до $-18,1$ ‰, в северном районе наблюдали более низкие значения — от $-18,7$ до $-20,6$ ‰. Значения $\delta^{15}\text{N}$ у донных рыб изменялись в южном районе от 15,8 до 17,8 ‰, в северном районе значения азота были выше — от 16,5 до 18,4 ‰.

Выполнено сравнение показателей изотопного состава представителей донных рыб исследованных районов. Максимальные значения отмечены у палтусовидной камбалы, которая повсеместно преобладала (вместе с крупным минтаем и сайкой) в донном сообществе. В южном районе значения $\delta^{13}\text{C}$ были на 2,1 ‰ выше, чем в северном, при этом значения $\delta^{15}\text{N}$ были на 2,6 ‰ ниже таковых для северного района. У молоди ильного люмпена различие показателей в южном и северном районах было менее выражено, по $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ — соответственно $-1,1$ и $0,3$ ‰.

Полученные результаты изотопного анализа пелагического и донного nekтона могут быть использованы для построения моделей трофических сетей в отдельных районах Чукотского моря, находящихся под влиянием различных водных масс.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают глубокую признательность всем сотрудникам, принимавшим участие в экспедициях в Чукотское море и участвовавшим в сборе материалов, использованных в работе.

The authors are deeply grateful to all colleagues who took part in expeditions to the Chukchi Sea and collected the materials used in this study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study had no sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов.

This article does not contain any research using animals as a subject.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

К.М. Горбатенко — сбор и обработка материалов, написание статьи; И.В. Мельников — интерпретация результатов, подготовка таблиц и рисунков, редакторская правка; А.П. Педченко — подготовка таблиц, доработка текста.

K.M. Gorbatenko — collection and processing the materials, writing the text; I.V. Melnikov — interpretation of the results, illustrating the text (tables and figures), editorial corrections; A.P. Pedchenko — data processing for tables, final revision of the text.

Список литературы

Бродский К.А., Вышкварцева Н.В., Кос Е.С., Мархасева Е.Л. Веслоногие ракообразные (Copepoda: Calanoida) морей СССР и сопредельных вод : моногр. — Л. : Наука, 1983. — Т. 1. — 358 с.

Горбатенко К.М., Кияшко С.И., Лаженцев А.Е. и др. Бенито-пелагические трофические связи в ихтиоценое шельфовой зоны западной части Берингова моря по данным анализа содержимого желудков и стабильных изотопов углерода и азота // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 153. — С. 283–294.

Горбатенко К.М., Кияшко С.И., Лаженцев А.Е. и др. Донно-пелагические связи в глубоководной части Охотского моря по данным стабильных изотопов С и N // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 183. — С. 200–216. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-183-200-216.

Горбатенко К.М., Мельников И.В., Бензик А.Н., Метревели В.Е. Донно-пелагические связи гидробионтов в различных водных массах Чукотского моря по данным $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 784–809. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-784-809.

Катугин О.Н., Явнов С.В., Шевцов Г.А. Атлас головоногих моллюсков дальневосточных морей России. — Владивосток : Русский Остров, 2010. — 136 с.

Одинцов В.С., Кияшко С.И. Вариации изотопного состава углерода и азота крабов *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) и *Hyas coarctatus* Leach, 1816 (Crustacea: Decapoda) на шельфе Чукотского моря // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 51–57.

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В. и др. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 178. — С. 206–220. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220.

Орлов А.М., Савин А.Б., Горбатенко К.М. и др. Биологические исследования в российских дальневосточных и арктических морях в трансарктической экспедиции ВНИРО // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 181. — С. 102–143. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-102-143.

Фигуркин А.Л., Слабинский А.М. Океанологические условия и планктон южной части Чукотского моря летом 1997–2010 гг. // Вопр. промысл. океанол. — 2012. — Т. 1, вып. 9. — С. 134–152.

DeNiro M.J., Epstein S. Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1978. — Vol. 42, Iss. 5. — P. 495–506. DOI: 10.1016/0016-7037(78)90199-0.

Hobson K.A., Welch H.E. Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1992. — Vol. 84. — P. 9–18. DOI: 10.3354/meps084009.

Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER — Stable Isotope Bayesian Ellipses in R // J. Animal Ecol. — 2011. — Vol. 80, Iss. 3. — P. 595–602. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x.

Minagawa M., Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between d^{15}N and animal age // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1984. — Vol. 48, Iss. 5. — P. 1135–1140. DOI: 10.1016/0016-7037(84)90204-7.

Sato M., Sasaki H., Fukuchi M. Stable isotopic compositions of overwintering copepods in the arctic and subarctic waters and implications to the feeding history // J. Mar. Systems. — 2002. — Vol. 38. — P. 165–174. DOI: 10.1016/S0924-7963(02)00175-6.

References

Brodskiy, K.A., Vyshkvartseva, N.V., Kos, Ye.S., and Markhaseva, Ye.L., *Veslonogiye rakoo-braznyye (Copepoda: Calanoida) morey SSSR i sopredel'nykh vod* (Copepods (Copepoda: Calanoida) of the seas of the USSR and adjacent waters), Leningrad: Nauka, 1983, vol. 1.

Gorbatenko, K.M., Kiyashko, S.I., Lazhentsev, A.E., Nadtochiy, V.A., and Savin, A.B., Trophic benthic-pelagic interactions of the fish community in the shelf zone of western Bering sea revealed by analysis of stomach contents and stable isotopes of carbon and nitrogen, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 283–294.

Gorbatenko, K.M., Kiyashko, S.I., Lazhentsev, A.E., Emelin, P.O., and Grishan, R.P., Benthic-pelagic relations in the deep-water part of the Okhotsk sea by the data of stable isotopes C and N analysis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 183, pp. 200–216. doi 10.26428/1606-9919-2015-183-200-216

Gorbatenko, K.M., Melnikov, I.V., Benzik, A.N., and Metreveli, V.E., Benthic-pelagic relations of aquatic organisms in various water masses of the Chukchi Sea by the data of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 784–809. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-784-809

Katugin, O.N., Yavnov, S.V., and Shevtsov, G.A., Atlas of cephalopods molluscs of the Far Eastern seas of Russia, Vladivostok: Russian Island, 2010.

Odintsov, V.S. and Kiyashko, S.I., Variations in the carbon and nitrogen isotope composition of the crabs *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) and *Hyas coarctatus* Leach, 1816 (Crustacea: Decapoda) from the Chukchi sea, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 68–74. doi 10.1134/S106307401801008X

Orlov, A.M., Benzik, A.N., Vedishcheva, E.V., Gafitsky, S.V., Gorbatenko, K.M., Goryanina, S.V., Zubarevich, V.L., Kodryan, K.V., Nosov, M.A., Orlova, S. Yu., Pedchenko, A.P., Rybakov, M.O., Sokolov, A.M., Somov, A.A., Subbotin, S.N., Tapygin, M. Yu., Firsov, Yu.L., Khleborodov, A.S., and Chikilev, V.G., Fisheries research in the Chukchi Sea at the RV «Professor Levanidov» in August 2019: some preliminary results, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 178, pp. 206–220. doi 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220

Orlov, A.M., Savin, A.B., Gorbatenko, K.M., Benzik, A.N., Morozov, T.B., Rybakov, M.O., Terent'ev, D.A., Vedishcheva, E.V., Kurbanov, Yu. K., Nosov M.A., and Orlova S.Yu., Biological research in the Russian Far Eastern and Arctic seas during the VNIRO transarctic expedition, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 181, pp. 102–143. doi 10.36038/2307-3497-2020-181-102-143

Figurkin, A.L. and Slabinskiy, A.M., Oceanological conditions and plankton in the southern part of the Chukchi Sea in the summer of 1997–2010, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2012, vol. 1, no. 9, pp. 134–152.

DeNiro, M.J., and Epstein, S., Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1978, vol. 42, no. 5, pp. 495–506. doi 10.1016/0016-7037(78)90199-0

Hobson, K.A. and Welch, H.E., Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 84, pp. 9–18. doi 10.3354/meps084009

Jackson, A.L., Inger, R., Parnell, A.C., and Bearhop, S., Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER — Stable Isotope Bayesian Ellipses in R, *J. Animal Ecol.*, 2011, vol. 80, no. 3, pp. 595–602. doi 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x

Minagawa, M. and Wada, E., Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between d^{15}N and animal age, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1984, vol. 48, no. 5, pp. 1135–1140. doi 10.1016/0016-7037(84)90204-7

Sato, M., Sasaki, H., and Fukuchi, M., Stable isotopic compositions of overwintering copepods in the arctic and subarctic waters and implications to the feeding history, *J. Mar. Systems*, 2002, vol. 38, pp. 165–174. doi 10.1016/S0924-7963(02)00175-6

Obzor gidrometeorologicheskikh protsessov v Severnom Ledovitom okeane. III kvartal 2019 (Review of hydrometeorological processes in the Arctic Ocean. III quarter 2019). St. Petersburg: AARI, 2019.

Поступила в редакцию 28.11.2023 г.

После доработки 30.11.2023 г.

Принята к публикации 30.11.2023 г.

The article was submitted 28.11.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 30.11.2023