

## Анализ соотношений изотопов углерода и азота у байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi) в Баргузинском заливе озера Байкал

Е. В. ДЗЮБА, Н. С. СМЕРНОВА, Н. Г. МЕЛЬНИК, Н. ОГАВА\*, Е. ВАДА\*

*Лимнологический институт СО РАН  
664033, Иркутск, п/я 4199, Россия*

*\*Центр экологических исследований Киотского университета  
Kamitanakamil, Otsu, 5202113, Japan*

### АННОТАЦИЯ

Согласно диапазону значений  $\delta^{13}\text{C}$  (от  $-23,6$  до  $-29,1$  ‰), определенному в июне 1995 г., прибрежный и придонно-глубоководный омуль, обитающий в этот период в склоновой зоне Баргузинского залива, принадлежат к пелагической пищевой сети. Значения  $\delta^{15}\text{N}$  исследованных рыб варьируют от 9,0 до 12,0 ‰ и увеличиваются с возрастанием размера особи в обеих морфоэкологических группах. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 97-04-48294 и Центра экологических исследований Киотского университета (проект Байкальского Международного центра экологических исследований).

### ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени установлено, что в экосистеме Байкала можно разграничить две основные пищевые сети: прибрежную (бентическую) и пелагическую, которые четко различаются по диапазонам значений  $\delta^{13}\text{C}$ , т. е. по источникам углерода, происходящим от донных и пелагических первичных продуцентов [1–3]. Байкальский омуль считается очень пластичным эврифагом, способным потреблять то, что ему доступно [4]. Этот активно мигрирующий вид обладает сложной пищевой стратегией: известны три морфоэкологические группы (пелагический, прибрежный и придонно-глубоководный омуль), занимающие различные пищевые ниши [5]. Поскольку в спектр питания омуля входит и рыбная пища, и планктон, и бентос, представляют интерес два вопроса: 1) в какую пищевую сеть (судя по значениям  $\delta^{13}\text{C}$ ) этот вид включается в те или иные

фазы жизненного цикла; 2) каков уровень трофии (хищничества) его особей (т. е. значения  $\delta^{15}\text{N}$ ) в зависимости от их размера, морфоэкологической группы и характера питания.

Особый интерес представляет конец зимне-весеннего периода (май–июнь), когда омуль трех морфоэкологических групп после совместной зимовки в придонных слоях склоновой зоны озера начинает расходиться по различным биотопам. Цель данного сообщения – определить для этого периода диапазоны значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  омуля различных морфоэкологических групп.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для работы собран во время гидроакустической съемки омуля в Баргузинском заливе оз. Байкал 22 июня 1995 г. донным тралом с глубин 205–240 м. Местонахождение рыб

Пределы изменчивости биологических характеристик омуля в Баргузинском заливе 22 июня 1995 г.  
(донный трал, гл. 205–240 м)

Показатель	Морфоэкологические группы					
	Придонно-глубоководный омуль		Прибрежный омуль		Пелагический омуль	
	самцы	самки	самцы	самки	самцы	самки
Масса тела, г	27–384	28–645	22–221	25–241	126–316	19–339
SL, мм	140–320	137–365	124–270	137–280	234–293	125–303
Стадия зрелости	II–III	II–IIIa	II	II–IIIa	II–III	II–IIIb
N <sub>nf</sub> , %	75	72	76	82	100	100
Число рыб	40	54	29	33	2	3

в момент отбора определено в соответствии с эхограммой. Для 161 экз. рыб проведен стандартный биологический анализ [6]. Материалы по питанию (143 экз.) обрабатывались в соответствии с общепринятыми количественно-весовыми методами [7]. Рассчитаны индексы наполнения (‰) и количество непитавшихся рыб (N<sub>nf</sub>, %). Соотношения стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и азота ( $\delta^{15}\text{N}$ ) определены в мышцах 19 рыб по формулам:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = (\text{Rобразца}/\text{Rстандарта} - 1) \times 1000, \quad (1)$$

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = (\text{R образца}/\text{Rстандарта} - 1) \times 1000, \quad (2)$$

где R =  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  или  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ .

Первый показатель отражает изотопный состав усвоенной пищи; второй служит индикатором трофического уровня, так как степень обогащения тканей изотопом  $^{15}\text{N}$  (по сравнению с изотопом  $^{14}\text{N}$ ) прогрессивно увеличивается вдоль пищевой цепи, в том числе в экосистеме пелагиали оз. Байкал [1, 2].

К трем морфоэкологическим группам (прибрежной, придонно-глубоководной и пелагической) относили рыб, которые в период нагула (с конца июня по ноябрь) обитают в составе разных сообществ – в относительно мелководных прибрежных районах, в придонных слоях склоновой зоны озера и в открытой пелагиали. Для определения, к какой группе относится та или иная особь, использовалась система морфологических признаков, подобная определительному ключу [8]. В нее входят следующие признаки: 1) количество тычинок, 2) относительная длина головы, 3) высота хвостового стебля, 4) высота головы у затылка [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В придонных слоях Баргузинского залива в конце июня 1995 г. 58 % рыб составлял придонно-глубоководный омуль, 38 % – прибрежный и 4 % – пелагический. Скопление было представлено двумя размерно-возрастными группами: 2–3-летние особи (SL = до 250 мм) и 4–9-летние (SL = 250–365 мм). В спектр питания рыб всех групп входили пелагическая амфипода макрогектопус *Macrohectopus branickii* (Dyb.), малая голомянка *Comephorus dybozewski* Korotneff и донные гаммариды. Отмечался высокий процент пустых желудков (табл. 1), индексы наполнения варьировали от 0,3 до 2,3 ‰. По опубликованным данным [4], в зимне-весенний период (ноябрь–июнь) омуль может питаться макрогектопусом, молодью рыб и обитателями дна – амфиподами, личинками хирономид, олигохетами, моллюсками. Тем не менее диапазон значений  $\delta^{13}\text{C}$  как у придонно-глубоководного, так и у прибрежного омуля (табл. 2) относится к установленному для пелагической пищевой сети [1–3]. Это объясняется тем, что бентосные организмы (включая рыб), обитающие глубже предела распространения донных растений, по  $\delta^{13}\text{C}$  также относятся не к бентической, а к пелагической пищевой сети [1–3].

Статистический анализ позволил выявить достоверно ( $p = 0,999$ ) связь  $\delta^{15}\text{N}$  с размерно-возрастными характеристиками особей и их принадлежностью к определенной морфоэкологической группе (см. табл. 2). Влияние длины тела особи SL (в дисперсионном анализе однофакторного комплекса) составляет 61 %. Наиболее тесная связь ( $r = 0,82$ )  $\delta^{15}\text{N}$  и SL обнаруживается при анализе внутри одной и той же

Соотношение стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ , ‰) и азота ( $\delta^{15}\text{N}$ , ‰) в мышцах омуля в Баргузинском заливе 22 июня 1995 г.

Группа	Пол	SL, мм	Спектр питания	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
ПГ	f	140	–	–27,0	10,7
ПГ	f	165	–	–27,6	9,9
ПГ	f	235	–	–27,4	10,0
ПГ	f	290	–	–27,3	10,9
ПГ	f	365	<i>M.br.</i>	–29,1	12,0
ПГ	m	180	<i>M.br.</i>	–27,2	9,7
ПГ	m	200	–	–29,1	10,3
ПГ	m	270	<i>M.br.</i>	–27,4	11,4
ПГ	m	270	<i>M.br.</i>	–26,9	11,2
ПГ	m	300	–	–27,8	11,8
ПГ	m	320	–	–27,6	11,4
ПР	f	180	<i>C.d.</i>	–28,1	9,5
ПР	f	265	–	–26,9	10,0
ПР	m	160	–	–28,6	9,4
ПР	m	190	–	–23,6	9,0
ПР	m	210	–	–27,9	9,4
ПР	m	216	–	–27,6	10,2
ПР	m	260	g	–27,7	11,0
ПР	m	270	<i>M.br.</i>	–27,2	10,6

П р и м е ч а н и е. ПГ – придонно-глубоководный, ПР – прибрежный омуль, f – самка, m – самец, *M.br.* – *Macrohectopus branickii*, g – донные гаммариды, *C.d.* – *Comephorus dybowskii*, (–) – пустой желудок.

морфоэкологической группы, меньше ( $r = 0,78$ ) – при смешанном составе омуля и еще меньше ( $r = 0,70$ ,  $\rho = 0,95$ ) – среди особей старше 4 лет (3+), т. е. размером более 250 мм. Полученные оценки вполне объяснимы, если учесть особенности питания. Придонно-глубоководный омуль ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{cp}} = 10,8$  – см. табл. 2) уже на втором году жизни переходит на преимущественное питание беспозвоночным хищником макрогектопусом, т. е. макропланктоном [4]. У прибрежного омуля важная роль мезозoopланктона прослеживается до 4–5-летнего возраста ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{cp}} = 9,9$  – см. табл. 2). Совокупное влияние размеров и морфоэкологического статуса (по результатам двухфакторного дисперсионного анализа) составляет более 80 %.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диапазон значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  (в ‰) *Coregonus autumnalis migratorius* в июне 1995 г. равен соответственно (–29,1) – (–26,9) и 9,7–12,0 для придонно-глубоководного омуля; (–28,6)

– (–23,6) и 9,0–11,0 для прибрежного омуля. Величины  $\delta^{13}\text{C}$  свидетельствуют о принадлежности рыб обеих морфоэкологических групп (в поздне-весенний период) к пелагической пищевой сети. Увеличение  $\delta^{15}\text{N}$  с возрастанием длины тела рыб указывает на соответствующее возрастание положения этих рыб на шкале трофических уровней в экосистеме [1], т. е. о потреблении все более крупной по размерам пищи, значения  $\delta^{15}\text{N}$  которой также последовательно увеличиваются.

Из результатов исследований следует, что при оценке спектра кормовых ресурсов и трофического уровня вида со сложной пищевой стратегией необходимо учитывать всю совокупность внутривидового разнообразия значений  $\delta^{15}\text{N}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ , что было показано ранее для байкальских голомянок и макрогектопуса [2].

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 97-04-48294 и российско-японского проекта Лимнологического института СО РАН и Центра экологических исследований Киотского университета (при Байкальском

Международном центре экологических исследований).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. K. Yoshii, N. G. Melnik, O. A. Timoshkin, et al., *Limnol. Oceanogr.*, 1999, **44**:3, 502–511.
2. Н. Г. Мельник, О. А. Тимошкин, В. Г. Сиделева и др., УП съезд Гидробиологического общества РАН (Казань, 14–20 октября 1996 г.): Материалы съезда, Т. 2, Казань, 53–54.
3. S. I. Kiyashko, P. Richard, T. Chandler, et al., *Life Sciences*, 1998, 321, 509–516.
4. Л. А. Гурова, В. Д. Пастухов, Питание и пищевые взаимоотношения пелагических рыб и нерпы Байкала, Новосибирск, 1974, 1–78.
5. V. V. Smirnov, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 1992, **39**:3–4, 325–333.
6. И. Ф. Правдин, Руководство по изучению рыб, Л., 1939, 1–245.
7. Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях, М., 1–263.
8. В. В. Смирнов, Динамика продуцирования рыб Байкала, Новосибирск, 1983, 201–223.

### **Analysis of Proportions of Carbon and Nitrogen Isotopes in the Baikalian Omul *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi) in the Barguzin Gulf of Lake Baikal**

E. V. DZIUBA, N. S. SMIRNOVA, N. G. MELNIK, N. OGAWA, E. WADA

According to the range of  $\delta^{13}\text{C}$  values (from  $-23.6$  to  $-29.1$  ‰) as estimated in June 1995, the littoral and the benthic-deep water omul inhabiting at that period the slope zone of the Barguzin Gulf belong to the pelagic feeding network. The  $\delta^{15}\text{N}$  values of the fish studied vary from 9.0 to 12.0 ‰ and increase as so does the size of individuals in the two morphophysiological groups. The studies were carried out with a support of the Russian Foundation for Basic Research and the Center of Ecological Research of Kyoto University (at the Baikal International Center for Ecological Research).