

УДК 577.115.3:591.5:597.553.2(282.256.341)

## Спектр жирных кислот различных морфоэкологических групп байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi, 1775)

О. Ю. ГЛЫЗИНА<sup>1</sup>, Е. В. ДЗЮБА<sup>1</sup>, Н. С. СМИРНОВА-ЗАЛУМИ<sup>1</sup>, Т. Н. БАШАРИНА<sup>1</sup>, В. В. СМИРНОВ<sup>2</sup>, А. В. ГЛЫЗИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт Сибирского отделения РАН,  
ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск 664033 (Россия)

E-mail: [glyzina@lin.irk.ru](mailto:glyzina@lin.irk.ru)

<sup>2</sup>Байкальский музей ИНЦ Сибирского отделения РАН,  
ул. Академическая, 1, пос. Листвянка, Иркутск 664520 (Россия)

E-mail: [bmsmirnov@mail.ru](mailto:bmsmirnov@mail.ru)

(Поступила 13.10.09; после доработки 22.01.10)

### Аннотация

Впервые определено содержание жирных кислот в мышечной ткани и печени трех морфоэкологических групп байкальского омуля. В составе общих липидов всех исследованных рыб преобладают полиненасыщенные (38.5–53.8 % от общей суммы кислот) и насыщенные (31.8–36.5 %) жирные кислоты. Полиненасыщенные кислоты преимущественно представлены 22:6(n-3) и 20:5(n-3), их суммарное содержание варьирует в пределах 16.8–33.3 %. Липиды мышц содержат высокую долю полиненасыщенных жирных кислот за счет докозагексаеновой кислоты (13.28–24.66 %). Существенных различий в составе жирных кислот общих липидов между различными морфоэкологическими группами омуля не выявлено. Благодаря умеренной общей жирности (6.37–7.65 %) и сбалансированному соотношению в мышечной ткани полиненасыщенных жирных кислот n-3/n-6 байкальский омуль можно считать диетическим продуктом высокого качества и сырьем для получения биологически активных добавок.

**Ключевые слова:** полиненасыщенные жирные кислоты, морфоэкологические группы, байкальский омуль

### ВВЕДЕНИЕ

Исследованию биохимического состава рыб в последнее время уделяется пристальное внимание в связи с развитием промышленных комплексов аква- и марикультуры [1]. К одним из важных биохимических составляющих и ключевых факторов, лимитирующих рост и контролирующих качество биомассы живых организмов, относятся полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК)  $\omega$ -3 (n-3) [2].

В рационе современного человека основное место занимают жиры наземных млекопитающих, содержащие  $\omega$ -6 (n-6) ПНЖК, однако потребление n-3 ПНЖК населением недостаточно даже в высокоразвитых странах. В связи с этим при планировании мероприятий по рациональному использованию

рыбных ресурсов пресноводных и морских экосистем необходимо располагать данными о содержании жирных кислот (ЖК) в рыбах [3]. Все это определяет важность проведения биохимических исследований байкальских рыб не только в плане изучения экологии и систематики, но и для выяснения их диетологической ценности.

Омуль (рис. 1) – основная промысловая рыба оз. Байкал, годовые уловы которой варьируют от 2–3 до 9 тыс. т [4, 5]. Байкальский омуль представлен тремя морфо-экологическими группами (МЭГ) популяций и субпопуляций – пелагической, прибрежно-пелагической и придонно-глубоководной [6–8], является активно мигрирующим видом со сложной пищевой стратегией. Согласно оценкам годового рациона омуля разных МЭГ, основ-

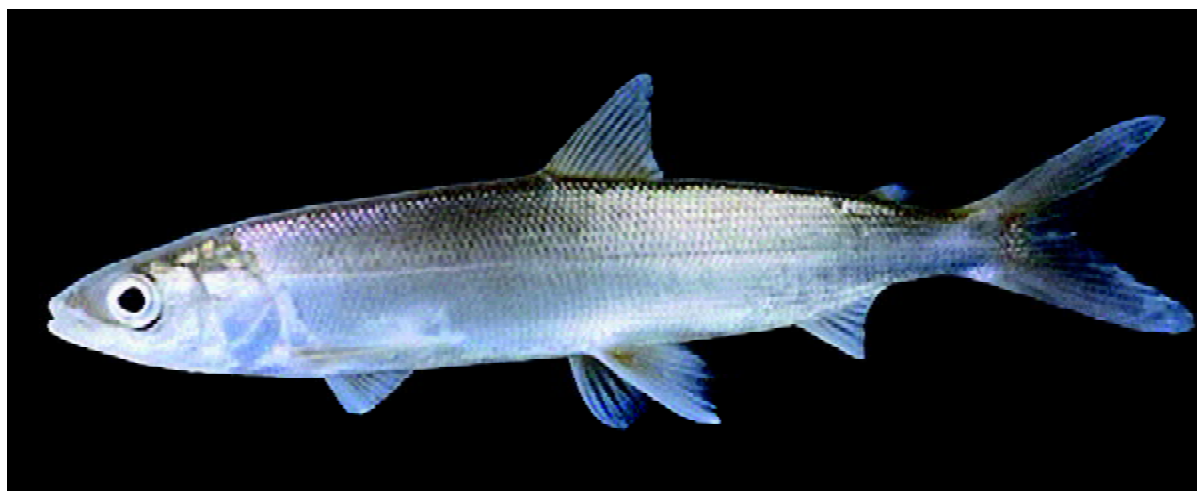


Рис. 1. Байкальский омуль *Coregonus autumnalis migratorius*. (Фото С. И. Дидоренко)

ные кормовые организмы пелагического омуля – это зоопланктон (41 % в годовом рационе), молодь пелагической амфиподы макрогектопуса (23 %), личинки и молодь голомянок. Придонно-глубоководный омуль питается в основном крупным макрогектопусом (52 %), молодь голомяно-бычковых рыб (25 %) и донными амфиподами (12 %). Омуль прибрежно-пелагической МЭГ в равной степени использует как зоопланктон (23 %), так и более крупные организмы (макрогектопус – 34 %, молодь бычковых рыб – 26 %) [9, 10].

Исследованию биохимического состава байкальских рыб посвящен ряд работ [11–16], однако байкальский омуль в этом плане изучен недостаточно. В проведенных ранее исследованиях охарактеризованы содержание влаги, липидов, белковых веществ, углеводов, витамина А, минеральных веществ и калорийность байкальского омуля [12]. Количественное содержание и фракционный состав липидов были определены только для придонно-глубоководного омуля [11].

В проведенных ранее исследованиях биохимический анализ рыб был выполнен с использованием классических методов исследования липидов, но без учета внутривидовой структуры байкальского омуля. В связи с этим цель данной работы – определение спектра жирных кислот в мышцах и печени различных МЭГ байкальского омуля в период их максимального расхождения по пищевым нишам.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования отобраны 96 экз. байкальского омуля, отловленных в ходе проведения экспедиционных работ в период с 30 сентября по 9 октября 2006 г. в Чивыркуйском заливе оз. Байкал. Рыб отлавливали жаберными сетями (ячея 14–24 мм) и крючковой снастью. Для определения принадлежности каждой особи к той или иной МЭГ использовалась система морфологических признаков [7]: 1) количество жаберных тычинок; 2) относительная длина головы; 3) высота хвостового стебля; 4) высота головы у затылка.

Рыб препарировали непосредственно после отлова, мышцы и печень фиксировали в смеси хлороформ : метанол в соотношении 1 : 2. Самки и самцы анализировались отдельно. Количественное определение общих липидов выполняли по методу Блая и Даера [17, 18].

Метилловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) из общих липидных экстрактов получали по методу Карро и Дубака [19], очищали от примесей методом тонкослойной хроматографии, используя в качестве элюента бензол. Определение МЭЖК проводили методом газожидкостной хроматографии с капиллярной колонкой с полярной фазой Supelcowax-10 на хроматографе Shimadzu 17A (Shimadzu, Япония). Газ-носитель – гелий. Идентификацию пиков МЭЖК на хроматограммах выполняли путем сравнения вре-

ТАБЛИЦА 1

Содержание общих липидов в мышцах и печени байкальского омуля различных морфо-экологических групп (МЭГ), % от сырой массы

МЭГ	Мышцы		Печень	
	Самцы	Самки	Самцы	Самки
Прибрежная	6.38±0.43	6.37±0.26	9.50±0.16	8.41±0.27
Пелагическая	7.65±0.38	7.07±0.31	10.64±0.38	9.97±0.22
Придонно-глубоководная	7.42±0.65	6.98±0.54	9.89±0.43	9.93±0.56

мен удерживания стандартов и расчета индексов эквивалентной длины цепи [20, 21].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По содержанию липидов в мышцах и печени байкальский омуль относится к умеренно жирным видам рыб. Содержание общих липидов в мышцах составляет 6.37–7.65 %, в печени – 8.41–10.64 %. Наиболее “жирными” оказались рыбы пелагической и придонно-глубоководной МЭГ (табл. 1).

Проведенные ранее исследования показали, что общее содержание липидов в тканях байкальского омуля может варьировать от 3.8 до 9.9 %, причем в гомогенатах разнополых рыб оно неодинаковое. Так, содержание липидов в тканях самцов больше по сравнению с их содержанием в тканях самок и составляет 4.40–5.39 и 3.63–4.88 % соответственно [12–14].

Проведенные ранее исследования состава липидов печени и мышц байкальского омуля позволили установить наличие следующих фракций: эфиры стероидов, триглицериды, неэстерифицированные жирные кислоты, диглицериды, холестерин, моноглицериды и фосфолипиды [11].

Исследование спектра ЖК байкальского омуля показало, что качественный состав ЖК мышц рыб всех МЭГ не зависит от их половой принадлежности (см. табл. 1).

При анализе байкальского омуля нами идентифицировано более 36 жирных кислот (табл. 2).

Для байкальского омуля характерно высокое содержание докозагексаеновой кислоты (ДГК) по сравнению с эйкозапентаеновой кислотой (ЭПК) (табл. 3). При этом содержание ДГК в омуле в 2–4 раза превышает ее содержание в других пресноводных и морских видах рыб [2, 22].

Для придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля выявлено увеличение содержания ПНЖК по сравнению с образцами пелагической МЭГ, особенно ЭПК и ДГК. Повышенное содержание ЭПК может быть обусловлено ее накоплением в процессе питания омуля амфиподами, для которых характерно высокое содержание этой жирной кислоты (например, для таких видов байкальских амфипод, как *Brantia parasitica* и *Eulimnogammarus cyaneus*, ее содержание достигает 4.5 и 12.3 % соответственно). Содержание ДГК в амфиподах варьирует от 3.1 до 4.9 %. Однако исследованные виды амфипод в пищевом спектре рыб не обнаружены, а литературных данных о биохимических характеристиках основных кормовых объектов байкальского омуля (эпишуры и макрогектопуса), к сожалению, нет. Известны лишь общие показатели жирности этих организмов, которые для эпишуры могут составлять от 2.2 до 6.3 %, а для макрогектопуса – от 1.0 до 2.7 % [13]. В связи с этим вопросы динамики количественных показателей этой группы кислот у байкальского омуля и о механизмах их накопления пока остаются открытыми.

В тканях байкальского омуля всех МЭГ высока доля насыщенных меристиновой (2.26–9.55 %), пальмитиновой (19.02–24.67 %) и стеариновой (2.91–3.98 %) жирных кислот. Среди ненасыщенных моноеновых кислот преобладают пальмитоолеиновая (3.04–8.76 %) и олеиновая (9.17–12.64 %) кислоты.

В мышечных тканях байкальского омуля всех МЭГ наблюдается высокое содержание витамина F – 13.6 %. Самцы байкальского омуля пелагической МЭГ имеют наиболее высокую долю незаменимых диетически ценных кислот, как по общей сумме ПНЖК (53.6 %), так и по содержанию n-3 (37.3 %). Соотношение ПНЖК n-3/n-6 в тканях бай-

ТАБЛИЦА 2

Спектр жирных кислот общих липидов в мышцах и печени байкальского омуля различных МЭГ

Жирные кислоты	Придонно-глубоководная				Пелагическая				Прибрежная	
	Самки		Самцы		Самки		Самцы		Самцы	
	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень
<i>Насыщенные жирные кислоты</i>										
>14:0	–	0.40	–	0.20	–	0.37	–	–	0.41	–
14:0	2.26	7.68	6.78	7.31	3.11	7.52	4.16	2.55	9.55	7.05
15:0-iso	0.26	1.04	0.30	0.30	0.30	1.04	0.40	0.31	0.41	0.34
15:0-ai	–	–	0.47	0.51	–	–	0.13	–	–	–
15:0	0.54	0.68	0.72	0.75	0.69	0.69	0.74	0.62	0.80	0.58
16:0-iso	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.12	0.11	–	0.13	0.15
16:0	24.67	19.46	20.45	21.10	22.52	19.85	20.89	21.95	19.69	19.30
17:0-iso	0.35	0.31	0.28	0.26	0.29	0.33	0.27	0.34	–	–
17:0-ai	0.39	0.45	0.36	0.37	–	0.45	0.42	0.45	0.49	0.28
17:0	0.57	1.63	1.96	2.00	0.39	1.81	0.89	0.56	1.85	0.35
18:0-iso	0.28	0.38	0.40	0.46	0.33	0.42	0.30	0.31	0.42	0.27
18:0	2.91	3.45	3.22	3.17	3.51	3.51	3.17	3.19	3.13	3.20
<i>Мононенасыщенные жирные кислоты</i>										
14:1	–	0.20	1.02	1.18	–	0.20	–	–	1.29	0.19
16:1(n-9)	–	0.77	1.06	1.05	–	–	0.46	–	0.95	0.46
16:1(n-7)	3.68	7.13	7.17	7.51	3.90	8.06	3.53	3.99	7.83	4.03
16:1(n-5)	0.29	0.47	0.51	0.55	0.43	0.46	0.50	0.68	0.50	0.29
18:1(n-9)	10.01	10.80	10.40	10.37	10.54	11.10	6.65	10.38	9.17	9.72
18:1(n-7)	2.54	2.75	2.37	2.32	2.67	2.72	2.14	2.71	2.49	2.94
18:1(n-6)	0.26	0.17	0.13	0.11	0.19	0.17	0.19	0.21	0.12	0.21
20:1(n-11)	–	0.44	–	0.24	–	0.45	–	–	0.41	–
20:1(n-9)	0.22	–	0.25	–	0.23	0.10	0.15	0.36	–	–
20:1(n-7)	0.10	–	–	–	–	–	0.42	–	0.10	–
22:1(n-9)	–	0.12	–	–	–	0.11	–	–	0.11	–
<i>Полиненасыщенные жирные кислоты</i>										
16:2(n-6)	–	0.27	0.30	0.30	–	0.29	–	–	0.31	–
16:2	0.31	0.45	–	–	–	0.32	0.34	0.23	0.68	–
16:3(n-3)	0.34	0.34	0.25	0.43	0.37	0.38	0.31	0.35	0.31	0.28
16:3(n-1)	–	0.18	–	–	–	0.20	–	–	0.21	–
16:4(n-3)	0.14	0.13	0.13	0.14	0.21	0.16	0.28	0.23	0.15	0.17
16:4(n-1)	–	0.15	0.18	0.19	–	0.15	–	–	0.18	–
18:2(n-6)	2.99	4.67	4.40	4.38	3.14	4.81	3.22	2.63	4.71	3.09
18:3(n-6)	0.30	0.27	0.53	0.33	0.31	0.28	0.37	0.38	0.32	0.25
18:3(n-3)	2.60	3.62	3.53	3.51	2.27	3.69	2.85	1.79	3.93	2.14
18:4(n-3)	–	–	–	–	–	–	0.11	–	–	–
18:4(n-1)	0.93	2.55	2.70	2.71	0.79	2.61	1.51	0.62	3.09	–
20:2(n-6)	0.59	0.40	0.30	0.28	0.51	0.41	–	0.62	0.34	0.39
20:3(n-6)	–	0.28	0.19	0.19	0.13	0.26	0.11	0.32	0.16	0.10
20:4(n-6)	6.26	2.27	3.07	2.96	7.25	2.27	6.77	7.85	2.06	6.22
20:3(n-3)	0.35	0.22	0.19	0.18	0.27	0.22	0.24	0.30	0.17	0.19
20:4(n-3)	0.71	0.73	0.91	0.86	0.62	0.73	0.88	0.69	0.82	0.79
20:5(n-3)	8.81	4.28	5.54	5.34	6.97	4.31	9.78	8.39	4.12	5.38
22:3(n-6)	–	0.15	0.12	0.13	–	0.19	0.18	–	0.16	–
22:4(n-6)	0.12	0.24	0.29	0.24	–	0.26	0.21	–	0.23	–
22:5(n-6)	1.27	1.42	1.45	1.36	1.54	1.40	1.40	1.74	1.54	1.65
22:5(n-3)	1.03	1.34	1.37	1.29	1.39	1.33	1.54	1.20	1.03	1.46
24:1	–	0.27	–	–	–	0.28	0.20	–	–	–
22:6(n-3)	23.36	14.26	15.48	14.80	24.66	13.97	23.53	24.13	13.28	17.18

ТАБЛИЦА 3

Содержание групп жирных кислот общих липидов в тканях байкальского омуля различных МЭГ, % от общей суммы жирных кислот

Группы жирных кислот	Пелагическая				Придонно-глубоководная				Прибрежная	
	Самки (n = 5)		Самцы (n = 7)		Самки (n = 5)		Самцы (n = 8)		Самцы (n = 3)	
	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень	Мышцы	Печень
НЖК	31.23	36.12	36.46	34.93	35.62	32.34	35.05	36.53	37.22	31.52
МНЖК	17.96	23.38	14.03	18.33	22.85	17.10	22.90	23.32	22.97	17.84
ПНЖК	50.43	38.52	53.83	51.49	38.48	50.12	40.93	39.61	37.80	26.36
ЭПК+ДГК	31.63	18.28	33.31	32.52	18.53	32.17	21.02	20.13	24.29	28.15
Σn-3	24.80	36.76	23.81	39.51	24.92	37.09	27.39	26.54	38.57	26.90
Σn-6	10.33	13.07	9.96	12.46	10.14	13.75	10.79	10.28	9.71	11.94
n-3/n-6	2.40	2.81	2.39	3.17	2.46	2.70	2.54	2.58	3.97	2.26
Витамин F	10.77	12.66	12.27	12.84	11.85	10.56	10.85	11.00	9.46	11.45

кальского омуля составляет 3 : 1 и незначительно отличается от такового для некоторых морских и пресноводных видов рыб [3, 23].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе общих липидов мышц и печени всех исследованных рыб преобладают полиненасыщенные (38.5–53.8 % от общей суммы кислот) и насыщенные (31.8–36.5 %) жирные кислоты. Полиненасыщенные кислоты в основном представлены 22:6n-3 и 20:5n-3, их суммарное содержание составляет 16.8–33.3 %. Липиды мышц содержат высокую долю полиненасыщенных жирных кислот за счет докозагексаеновой кислоты (13.28–24.66 %). Существенных различий в составе жирных кислот общих липидов между МЭГ байкальского омуля не выявлено.

Жирность и биохимический состав тканей рыб отражают их питание в предшествующий период времени, однако вопрос о длительности этого периода остается пока открытым. В связи с этим необходимо проводить дальнейшие исследования по определению сезонного изменения этих показателей для тканей основных кормовых организмов байкальского омуля и самих рыб, а также осуществлять постановку серии экспериментальных работ по скорости усвоения пищи рыбами.

Полученные данные о составе жирных кислот общих липидов необходимы для поис-

ка естественных источников биологически активных веществ липидной природы и проведения дальнейших биохимических исследований в различных областях аквакультуры пресноводных гидробионтов.

Авторы благодарят сотрудника Института биологии моря ДВО РАН Н. А. Латышева за помощь в проведении биохимических анализов.

Работа выполнена в рамках программ РАН “Виварии”, № 26.13, а также интеграционного проекта СО РАН (№ 6).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Багров А.М. Некоторые принципы развития аквакультуры России в современных условиях. // Сб. науч. тр. ГНУ ВНИИР и РГАУ МСХА им. К. А. Тимирязева по итогам Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Московской областной рыбохозяйственной 60-летию Московской областной рыбохозяйственной селекционно-опытной станции и 25-летию ее реорганизации в ГНУ ВНИИР “Аквакультура и интегрированные технологии: проблемы и возможности”. 2008. С. 34–37.
- 2 Kamler E. // Fish and Fisheries. Ser. 4. London: Chapman and Hall, 1992. 267 pp.
- 3 Суцник Н. Н. // Журн. общей биологии, 2008. Т. 69, №. 4. С. 299–316.
- 4 Кожов М. М., Спелит К. К. Динамика добычи рыбы в Байкале и его бассейне. // Рыбы и рыбное хозяйство в бассейне озера Байкал. Иркутск: Иркутск. кн. изд-во, 1958. С. 504–525.
- 5 Смирнов В. В., Смирнова-Залуми Н. С. Вопросы воспроизводства и продуцирования омуля. // Лимнология прибрежно-соровой зоны Байкала. Новосибирск: Наука, 1977. С. 248–263.
- 6 Смирнов В. В. // Вопросы ихтиологии. 1969. Т. 9, № 3 (56). С. 508–515.
- 7 Смирнов В. В., Шумилов И. П. Омули Байкала. Новосибирск: Наука, 1974. 160 с.

- 8 Smirnov V. V. // *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 1992. Vol. 39, No. 3-4. P. 325-333.
- 9 Смирнов В. В., Устюжанина-Гурова Л. А. Использование омулем кормовой базы Байкала // Второе сов. по вопросам круговорота вещества и энергии в озерных водоемах. Ч. 2. Лиственничное на Байкале, 1969. С. 56-57.
- 10 Гурова Л. А., Пастухов В. Д. Питание и пищевые взаимоотношения пелагических рыб и нерпы Байкала. Новосибирск: Наука, 1974. 186 с.
- 11 Корнакова Э. Ф., Егорова Л. И., Заварзина Г. А. Фракционный состав липидов посольского омуля // Тез. докл. всесоюз. науч. конф. "Физиология и биохимия байкальских организмов". Вып. 3: Рыбы и нерпа, 1981. С. 32-33.
- 12 Корнакова Э. Ф., Шерстова В. В. Биохимический состав некоторых байкальских рыб // Экология Южного Байкала / под ред. Г. И. Галазий. Иркутск, 1983. С. 207-214.
- 13 Корнакова Э. Ф., Шерстова В. В., Егорова Л. И. О пищевой ценности руководящих видов фауны пелагиали Байкала // Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. лимнологов "Круговорот вещества и энергии в водоемах: Рыбы и рыбные ресурсы". Иркутск, 1977. С. 258-261.
- 14 Kozlova T. A., Khotimchenko S. V. // *Comp. Biochem. Physiol.* 1993. Vol. 105B(1). P. 97-103.
- 15 Kozlova T. A., Khotimchenko S. V. // *Comp. Biochem. Physiol. Part B.* 2000. Vol. 126. P. 477-485.
- 16 Ju S. J., Kucklick J. R., Kozlova T. A., Harvey H. R. // *J. Great Lakes Res.* 1997. Vol. 23 No. 3. P. 241-253.
- 17 Bligh E. G., Dyer W. J. // *Can. J. Biochem. Physiol.* 1959. Vol. 37, No. 1. P. 911-917.
- 18 Кейтс М. Техника липидологии: Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир, 1975. 332 с.
- 19 Carreau J. P., Dubacq J. P. // *J. Chromatogr.* 1978. Vol. 151. P. 384-390.
- 20 Flanzy J., Boudon M., Leger C., Pihet J. // *J. Chromatog. Sci.* 1976. Vol. 14. P. 17-24.
- 21 Jamieson G. R., Ri E. H. // *Phytochem.* 1975. Vol. 14, No. 233. P. 2229-2232.
- 22 Henderson R. J. // *Progress in Lipid Res.* 1987. Vol. 26, No. 1. P. 281-347.
- 23 Глызина О. Ю., Дзюба Е. В., Латышев Н. А., Смирнов В. В., Федорова Г. А., Глызин А. В., Башарина Т. Н. // *Химия уст. разв.* 2009. Т. 17, № 1. С. 15-20.