

ZOOCENOSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS



L. P. Kharchenko  Dr. Sci. (Biol.), Professor
I. A. Lykova

UDK 598.243:
[592+577.115.3](477.7)

*G. S. Scovoroda National Pedagogical University
of Kharkov, Bliukher str., 2, 61168, Kharkov, Ukraine*

LITTORAL INVERTEBRATES IN WADERS' NUTRITION AT MIGRATORY STOPOVER SITES IN THE AZOV AND BLACK SEA REGION


Abstract. Seasonal migration for birds – distant migrants are the most energy intensive. Fat reserves accumulated in the bird's body before migration and during migratory stopovers determine success of the long-distance flight. Lipids play a vital role both as a source of energy and as structural components of cell membranes. For most migrants to the speed and quality processes fat accumulation affects the feed ration in the field of migration stops. Fodder saturation with essential polyunsaturated fatty acids (PUFAs) is of great importance. Being paramount for physiological processes, these acids cannot be synthesized in the bird's body. The proposed article is dedicated to the study of waders' trophic relationships with their prey items, and the use of PUFAs as biochemical markers. This approach is based on the specificity of the fatty acids contained in the lipids of invertebrate to be used as food bird species studied. Significant amount NPZHK waders obtained from forage that can be considered PUFAs as biochemical markers to determine the range and diversity of food producing birds PUFAs ways, and also to study the food chain in ecosystems.

A fatty acid spectrum (FAS) of the lipids common for nine littoral invertebrate species (*Gammarus aequicauda*, *Idotea balthica*, *Artemia salina*, *Nereis sp.*, *Nereis zonata*, *Theodoxces astrachanicus*, *Hydrobia acuta*, *Chironomus salinarius*, *Chironomus plumosus*), which constitute the main component of waders' diet at the migratory stopover sites in the Azov and Black Sea region, has been studied.

Found that the largest amount of total lipids contained in *Nereis zonata* (4,6 %) and *Artemia salina* (4,4 %), the lowest amount of total lipids was observed in *Chironomus* (1,5–1,8 %), which implies that polychaete worms and *Artemia salina*, as a source of fat, are the most productive for waders.

Our research has found that mollusks, polychaete worms, and *Artemia salina* are the most effective waders' fodder in the PUFAs content. Mollusks contain the largest amount of PUFAs, their spectrum is $\omega 3$ and $\omega 6$ PUFAs, especially arachidonic acid C20:4. Polychaete worms are also characterized by a high PUFAs level; they serve for birds as a source of linolenic and linoleic acid groups. *Artemia salina* contains a large amount of eicosapentaenoic C20:5 $\omega 3$ and docosahexaenoic C22:6 $\omega 3$ acids, which getting to an organism of birds, participating in the formation of cell membranes, act as thermal stabilizer lipid bilayers, enhance stamina during long-distance flight. A high abundance of *Artemia salina* in the feeding areas permit tundra waders to use them as a prey item, which can fulfill the bird's body with a required amount of fatty acids in a short time.

We have established an influence of some environmental factors, as water temperature and salinity, on the lipids FAS of littoral invertebrates. Spectrum analysis of polyene fatty acids in the lipids closely related species of invertebrates living in different salinity water showed that the content

 Corresponding author. Tel.: +38050-935-22-13. E-mail: harchenko.lp@yandex.ua

DOI: 10.15421/031407

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25, no. 1–2

69

of PUFAs in the lipid depend on their food spectrum, and the environmental conditions. Therefore, anthropogenic pressure and changes of water hydrological regime may affect PUFAs content in the lipids of littoral invertebrates. In its turn, this factor may change alimentary behavior and migratory strategy of the birds, which use migratory stopover sites in the region in question.

Shallow waters of the Azov-Black Sea region are characterized by different climatic characteristics and a large reserve of phytoplankton. This explains the mass character species studied of invertebrates to feeding areas and their use as basic prey items, many species of waders.

Key words: littoral invertebrates, migratory stopovers, waders, fatty acid composition of lipids, essential fatty acids.

УДК 598.243:
[592+577.115.3](477.7)

Л. П. Харченко

д-р биол. наук, проф.

И. А. Лыкова

*Харьковский национальный педагогический университет им. Г. С. Сковороды,
ул. Блюхера, 2, 61168, г. Харьков, Украина,
тел.: +38050-935-22-13, e-mail: harchenko.lp@yandex.ua*

ЛИТОРАЛЬНЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ В ПИТАНИИ КУЛИКОВ НА МИГРАЦИОННЫХ ОСТАНОВКАХ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Исследован жирнокислотный состав общих липидов 9 видов литоральных беспозвоночных, которые входят в состав основных кормов куликов на миграционных остановках в Азово-Черноморском регионе. Установлено, что в качестве источника незаменимых жирных кислот, наиболее эффективным кормом для куликов являются моллюски, полихеты и *Artemia salina*, в липидах которых определен высокий уровень содержания незаменимых жирных кислот. В липидах данных групп литоральных беспозвоночных содержатся незаменимые жирные кислоты как линолевого (линолевая, арахидоновая) так и линоленового (линоленовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая) ряда.

Ключевые слова: литоральные беспозвоночные, миграционные остановки, кулики, жирнокислотный состав липидов, незаменимые жирные кислоты.

УДК 598.243:
[592+577.115.3](477.7)

Л. П. Харченко

д-р біол. наук, проф.

І. О. Ликова

*Харківський національний педагогічний університет ім. Г. С. Сковороди,
вул. Блюхера, 2, 61168, м. Харків, Україна,
тел.: +38050-935-22-13, e-mail: harchenko.lp@yandex.ua*

ЛИТОРАЛЬНІ БЕЗХРЕБЕТНІ В ЖИВЛЕННІ КУЛИКІВ НА МІГРАЦІЙНИХ ЗУПИНКАХ В АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОМУ РЕГІОНІ

Досліджено жирнокислотний склад загальних ліпідів 9 видів літоральних безхребетних, які входять до складу основних кормів куликів під час міграційних зупинок в Азово-Чорноморському регіоні. Встановлено, що в якості джерела незамінних жирних кислот, найбільш ефективним кормом для куликів є моллюски, поліхети і *Artemia salina*, в ліпідах яких міститься значна частка незамінних жирних кислот. До складу ліпідів цих груп літоральних безхребетних входять незамінні жирні кислоти як лінолевого (лінолева, арахідонова) так і ліноленового (ліноленова, ейкозапентаєнова, докозагексаєнова) ряду.

Ключові слова: літоральні безхребетні, міграційні зупинки, кулики, жирнокислотний склад ліпідів, незамінні жирні кислоти.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевые характеристики, определяющие жизнедеятельность птиц – это питание, перемещение в пространстве, размножение, миграции и отдых.

Большинство энергетических запасов, получаемых птицами из пищи, используется на физиологические потребности, избыток энергии запасается в виде жировых отложений (Pyichev et al., 1982).

Для птиц – дальних мигрантов самыми энергозатратными являются сезонные миграции. Процесс накопления птицами жировых запасов в предмиграционный период и их использование во время перелетов остается актуальным при изучении биологии дальних мигрантов (Piersma et al., 2003). Модельной группой для изучения этой проблемы являются кулики, большинство которых – трансконтинентальные мигранты.

Жировые запасы, накапливающиеся в организме птиц перед миграцией и на местах миграционных остановок, определяют успешность дальних перелетов и размножения на местах гнездования (Guy et al., 2007; Yohannes et al., 2010). Для большинства мигрантов на скорость и качество процессов жиронакопления влияет кормовой рацион на местах миграционных остановок (Battley et al., 2005).

Вместе с кормом в организм птиц поступают все необходимые для жизнедеятельности вещества, из которых в печени и жировой ткани синтезируются липиды. Энергия, которая освобождается при расщеплении липидов, обеспечивает жизнедеятельность клеток. Липиды играют жизненно важную роль как источник энергии и структурный компонент клеточных мембран (Bishop and Kenrick, 1980).

Огромное значение имеет насыщенность кормов незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами (НПЖК), которые не синтезируются в организме птиц, но имеют первостепенное значение в физиологических процессах. НПЖК необходимы для поддержания жидкостности клеточных мембран, они участвуют в адаптации организма к окружающей среде, являются эссенциальными факторами пищи животных, обладают разнообразной биологической активностью (Pyichev et al., 1982; Bishop and Kenrick, 1980; McWilliams et al., 2004; Maillet and Weber, 2006, 2009).

В результате ряда исследований было установлено, что за период миграционных остановок происходит изменение жирнокислотного состава в жировой и мышечной тканях птиц путем увеличения коэффициента ненасыщенности ЖК, что приводит к увеличению окислительных процессов в мышечной ткани и повышению ее выносливости (Maillet and Weber, 2006, 2009). По данным этих исследований следует, что некоторые виды дальних мигрантов во время миграционных остановок переключаются на специальную монодиету, используя в пищу определенные виды амфипод, которые содержат необычайно высокий уровень ω -3 полиненасыщенных ЖК, что и приводит к увеличению коэффициента ненасыщенности ЖК.

Ранее нами был изучен жирнокислотный спектр липидов тканей куликов и его изменение за период миграционных остановок в Азово-Черноморском регионе, мелководья которого являются оптимальной кормовой базой для многих видов куликов. Установлено, что за период миграционных остановок в тканях исследуемых птиц повышается коэффициент ненасыщенности ЖК путем увеличения количества ω -3 полиненасыщенных ЖК (Lykova and Kharchenko, 2011; Lykova, 2012; Kharchenko and Lykova, 2012).

Предлагаемая статья посвящена изучению трофических связей куликов с объектами питания с применением метода биохимических маркеров, в качестве которых используются ЖК (Suschik, 2006). Этот подход основан на специфичности ЖК, содержащихся в липидах беспозвоночных, используемых в качестве пищи изучаемыми видами птиц. Значительное количество НПЖК кулики получают из добываемого корма, что позволяет рассматривать НПЖК в качестве биохимических маркеров для определения пищевого спектра и разнообразия путей получения птицами НПЖК, а также для исследования пищевых цепей в экосистемах (Dalsgaard et al., 2003; McWilliams et al., 2004).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для данных исследований был собран в мае-июне 2012–2013 г. на территории Азово-Черноморского региона в местах массовых скоплений куликов. Данный регион используется как место миграционных остановок многими видами куликов (*Charadrius hiaticula* (Linnaeus, 1758); *Tringa glareola* (Linnaeus, 1758); *Tringa ochropus* (Linnaeus, 1758); *Tringa nebularia* (Gunnerus, 1767); *Tringa erythropus* (Pallas, 1764); *Tringa stagnatilis* (Bechstein, 1803); *Tringa totanus* (Linnaeus, 1758); *Philomachus pugnax* (Linnaeus, 1758); *Calidris minuta* (Leisler, 1812); *Calidris temminckii* (Leisler, 1812); *Calidris ferruginea* (Pontoppidan, 1763); *Calidris alpina* (Linnaeus, 1758); *Limicola falcinellus* (Pontoppidan, 1763).

Кормовой рацион данных видов куликов на кормовых полях лиманов и лагун Азово-Черноморского региона во время миграционных остановок был изучен на основе литературных данных (Chernichko and Kirikova, 1999, 2002; Kirikova, 2000; 2003; Kirikova and Antonovsky, 2007, 2011; Khomenko, 2003; Chernichko, 2010). Кормовыми объектами куликов являются 29 видов литоральных беспозвоночных, среди которых преобладают брюхоногие моллюски (*Gastropoda*) – 48,3 %, ракообразные (*Crustacea*) – 24,1 %, многощетинковые черви (*Polychaeta*) – 17,2 %, и личинки насекомых (*Insecta*) – 10,4 % (Kirikova and Antonovsky, 2011).

Для исследований было отобрано 9 видов беспозвоночных, являющихся наиболее массовыми для литорали данного региона и используются куликами в качестве основного корма. Исследовали 3 вида ракообразных (*Crustacea*) – *Gammarus aequicauda* (Martynov, 1931), *Idotea balthica* (Pallas, 1772), *Artemia salina* (Linnaeus, 1758); 2 вида многощетинковых червей (*Polychaeta*) – *Hediste diversicolor* (Müller, 1776), *Nereis zonata* (Malmgren, 1867), 2 вида моллюсков (*Mollusca*) – *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), *Theodoxes astrachanicus* (Starobogatov in Starobogatov, Filchakov, Antonova et Pirogov, 1994); 2 вида личинок насекомых (*Insecta*) – *Chironomus salinaria* (Kieffer, 1915), *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758).

Собранных беспозвоночных одного вида промывали, просушивали с помощью фильтровальной бумаги, отбирали навеску массой 5 г и фиксировали в 90 % этаноле. Пробы до анализа помещали на хранение при температуре 4 °С.

Определение жирнокислотного состава липидов исследуемых беспозвоночных проводили на базе экспериментальной лаборатории инструментальных исследований УкрНИИМЖ НААН (г. Харьков) методом газовой хроматографии на газовом хроматографе GC-14В, фирмы «SHIMADZY» с пламенно-ионизационным детектором, программированием температуры и вычислением данных на интеграторе G-6.

Общие липиды экстрагировали смесью хлороформа и метанола в соотношении 2:1 (Folch, 1957). Приготовление метиловых эфиров жирных кислот (ЖК) проводили методом переэтерификации. Полученные метиловые эфиры высших жирных кислот (ВЖК) общих липидов и фракции ненасыщенных ЖК разделяли методом газожидкостной хроматографии (Rivis et al., 1997). Исследования проводились на капиллярной колонке DB-23 60 m × 0,25 mm id, 0,25µm 122-2362 при температуре термостата колонок от 175 °С до 230 °С с программированным повышением температуры на 3 °С/мин. Температура инжектора – 240 °С, система split с коэффициентом распределения (split ratio) -1:70, температура печи детектора – 250 °С, объем пробы – 1 мл раствора метиловых эфиров.

Полученные цифровые данные обрабатывали статистически с помощью стандартного пакета статистических программ Microsoft EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Беспозвоночные, как и другие консументы, могут синтезировать лишь некоторые насыщенные ЖК, а для синтеза ненасыщенных ЖК нужны специальные ферменты – десатуразы и элонгазы, набор которых различен у разных организмов. У

большинства животных ферменты не способны вставлять двойную связь в положения $\omega 3$ и $\omega 6$. продуцентами ненасыщенных ЖК в данной пищевой цепочке являются фото- или хемотрофные микроорганизмы и микроскопические водоросли, которые в ходе эволюции приобрели способность осуществлять синтез этих ЖК с достаточно высокой эффективностью и служат пищей для исследуемых видов беспозвоночных (Suschik, 2008; Zhukova, 2009).

Состав ЖК фитопланктонных организмов напрямую зависит от условий окружающей среды. При снижении температуры воды наблюдается увеличение степени ненасыщенности ЖК, при недостатке азота, фосфора или кремния, как правило, увеличивается содержание насыщенных ЖК, а количество ненасыщенных уменьшается. На состав ЖК также влияет освещенность и соленость воды (Suschik, 2008; Zhukova, 2009). Соответственно, все эти факторы влияют и на трансфер ЖК по пищевой цепи: фитопланктон – беспозвоночные – кулики.

Исходя из вышеизложенного, для сравнительного анализа нами были взяты образцы беспозвоночных. Пробы были собраны в водоемах с разной соленостью в местах массовых скоплений куликов, в один и тот же период года (май-июнь), при одинаковой температуре окружающей среды (25–27 °C) (табл. 1).

Установлено, что из всех исследуемых видов беспозвоночных достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество липидов содержится в *Nereis zonata* – 4,6 %, также относительно высокий уровень липидов отмечен в *Artemia salina* – 4,4 %, *Hediste diversicolor* – 4,0 %, *Idotea baltica* – 4,0 %. Достоверно наименьшее ($p < 0,01$) содержание липидов отмечено в *Chironomus plumosus* – 1,5 % и *Chironomus salinarius* – 1,8 %, то есть полихеты и артемия, как источник жиров, являются для куликов наиболее продуктивными (табл. 2).

Жирнокислотный спектр (ЖКС) липидов исследуемых беспозвоночных представлен насыщенными, моноеновыми и полиеновыми ненасыщенными ЖК. Общее содержание насыщенных ЖК составляет 22,17–39,35 % от общего содержания ЖК и является достоверно наибольшим ($p < 0,05$) у *Chironomus plumosus*. Спектр насыщенных ЖК представлен кислотами C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, среди которых доминируют C16:0 (14,67–25,07 %) и C18:0 (2,17–8,84 %) (табл. 2).

Наибольшую часть ЖКС липидов исследуемых беспозвоночных составляют моноеновые ЖК, их содержание в липидах составляет от 32,95 % у *Theodoxces astrachanicus* до 53,20 % у *Idotea baltica* (рис. 1). Спектр моноеновых ЖК представлен кислотами C16:1, C18:1, C20:1, C22:1, C24:1, среди которых доминируют пальмитоолеиновая C16:1 и олеиновая C18:1 кислоты. Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество C16:1 отмечено у хирономусов (21,21–24,46 %) и *Gammarus aequicauda* – 24,75 %, что в 4,5 раза больше, чем количество C16:1 у моллюсков и полихет. Достоверно наибольшее ($p < 0,05$) содержание C18:1 отмечено у *Idotea baltica* – 43,1 % от суммы ЖК, что в 2,5–3,0 раза выше, чем количество C18:1 у хирономусов и в 2,0–2,5 раза выше содержания данной кислоты у моллюсков и *Gammarus aequicauda* (табл. 2). Вероятнее всего, это связано с отличиями в спектре питания исследуемых беспозвоночных, так как они обитают и питаются в разных слоях толщи воды.

Содержание эйкозеновой C20:1 кислоты у большинства исследуемых видов незначительно и составляет 0,41–1,83 % от общего содержания ЖК. Исключение составили моллюски, в ЖКС которых содержится достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество C20:1 кислоты (8,37–10,55 %). По литературным данным, это может быть связано с симбиотрофией, получением органического вещества за счет фото- или хемосинтеза внутриклеточными микроорганизмами, которая у моллюсков развита в большей степени (Zhukova, 2009).

Длинноцепочечные моноеновые кислоты C22:1, C24:1 у хирономид в ЖКС не определяются, а у других видов содержатся в незначительном количестве. Наибольшее содержание C22:1 отмечено у *Theodoxces astrachanicus* – 2,77 %, C24:1 – у *Hediste diversicolor* – 1,85 % от суммы ЖК (табл. 2).

Таблица 1

Видовой состав исследуемых водных беспозвоночных и характеристика места сбора

Класс	<i>Insecta</i>		<i>Malacostraca</i>		<i>Branchiopoda</i>	<i>Gastropoda</i>		<i>Polychaeta</i>	
	<i>Chironomus salinaris</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Gammarus aequicauda</i>	<i>Idotea baltica</i>	<i>Artemia salina</i>	<i>Theodox-ces Astrachanicus</i>	<i>Hydrobia acuta</i>	<i>Nereis zonata</i>	<i>Hediste diversicolor</i>
Дата сбора	17.05.2013	15.05.2013	16.05.2013	16.05.2013	4.06.2012	5.06.2012	17.05.2013	16.05.2013	5.06.2012
Место сбора	Молочный лиман, с. Радионовка	Искусственные разливы, с. Рюмшино Джанкойский р-н	Джанкойский сброс, Восточный Сиваш	Джанкойский сброс, Восточный Сиваш	Утлюкский лиман, Акимовский р-н	Утлюкский лиман, Акимовский р-н	Молочный лиман, с. Радионовка	Джанкойский сброс, Восточный Сиваш	Утлюкский лиман, Акимовский р-н
Соленость воды (%)	86.8	3–5	21.2	21.2	50–60	50–60	86.8	21.2	50–60

Таблица 2

Содержание жирных кислот (% от суммы жирных кислот, М±m) в общих липидах исследованных беспозвоночных

Жирные кислоты	<i>Chironomus salinarius</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Gammarus aequicauda</i>	<i>Idotea baltica</i>	<i>Artemia salina</i>	<i>Theodoxes astrachanicus</i>	<i>Hydrobia acuta</i>	<i>Nereis zonata</i>	<i>Hediste diversicolor</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общие липиды, %	1,8±0,18	1,5±0,16*	3,0±0,12	4,0±0,21	4,4±0,18	3,6±0,16	3,1±0,16	4,6±0,12*	4,0±0,18
Насыщенные									
14:0 миристиновая	9,64±0,96	8,55±0,37	4,93±0,32	0,99±0,08	2,89±0,27	1,85±0,22	1,15±0,12	0,97±0,14	0,91±0,18
15:0 пентадекановая	1,16±0,13	1,85±0,19	0,85±0,04	0,41±0,05	–	0,44±0,05	0,35±0,02	–	–
16:0 пальмитиновая	20,00±2,40	21,24±0,54	18,13±1,37	19,27±1,53	17,72±1,85	14,67±1,38	16,23±1,72	25,07±2,08**	22,37±1,68
17:0 маргариновая	2,98±0,35	3,55±0,22	2,64±0,21	1,78±0,12	2,37±0,31	1,46±0,26	2,10±0,25	0,94±0,18	4,90±0,37
18:0 стеариновая	3,69±0,59	4,16±0,51	6,71±0,42	8,84±0,75**	5,38±0,60	3,75±0,42	4,31±0,35	5,80±0,57	2,17±0,35
Сумма насыщенных ЖК	37,47±2,57	39,35±2,36**	33,26±1,65	31,29±1,95	28,36±1,76	22,17±0,84	24,14±1,52	32,78±2,75	30,35±1,85
Моноеновые									
16:1 пальмитолеиновая	24,46±1,19*	21,21±1,61	24,75±1,54*	7,28±0,68	12,34±0,85	4,79±0,55	5,22±0,45	5,31±0,78	5,50±0,57
18:1 олеиновая	17,70±1,02	11,56±0,58	19,97±1,28	43,11±2,10*	31,18±1,65	13,33±0,86	18,56±1,68	31,23±2,55	28,14±1,48
20:1 эйкозеновая	0,83±0,12	0,41±0,08	1,10±0,15	0,53±0,08	1,09±0,22	10,55±1,12*	8,37±0,85*	0,92±0,15	1,83±0,44
22:1 эруковая	–	–	~	0,73±0,21	~	2,77±0,31	1,32±0,08	~	0,91±0,18
24:1 тетракозеновая	–	–	1,53±0,18	1,55±0,30	1,08±0,31	1,51±0,15	1,56±0,15	1,15±0,18	1,85±0,18

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сумма моноеновых ЖК	43,02±1,81	33,18±1,24	47,35±2,84	53,20 ±1,25**	45,69±2,15	32,95±1,91	35,03±1,77	38,61±3,12	38,23±2,15
Полиеновые									
18:3ω3 линоленовая	0,83±0,15*	8,87±0,67*	0,93±0,11	0,61±0,08*	2,17±0,34	6,93±0,75	4,97±0,75	2,52±0,22	3,88±0,28
20:5ω3 эйкозатриеновая	5,74±0,39	4,79±0,22	7,58±0,66	2,44±0,25	13,18±0,92*	8,21±0,72	9,85±0,82	11,15±1,25	9,23±0,85
22:6ω3 докозагексаеновая	~	~	1,70±0,35	1,80±0,25	2,26±0,20	2,62±0,18	2,41±0,15	1,75±0,45	2,06±0,12
Сумма ω3 кислот	6,57±0,35*	13,66±0,95	10,21±0,83	4,85±0,78	17,61±1,18	17,76±0,98*	17,23±1,32	15,42±1,33	15,17±0,95
18:2ω6 линолевая	7,58±0,72	7,90±0,61	3,85±0,32	4,47±0,35	3,13 ±0,21	7,44±0,55	8,12±0,75	8,65±0,78	9,24 ±0,87**
20:4ω6 арахидоновая	0,96±0,08*	0,66±0,07	1,42±0,21	4,06±0,45	3,35±0,45	10,53 ±0,75*	7,52±0,82	2,70±0,25	2,07±0,18
Сумма ω6 кислот	8,54±0,66	8,56±0,82	5,27±0,38*	8,53±0,87	6,48±0,76	17,97±1,24*	16,54±1,11	11,35±1,42	11,31±1,16
Σ ω3/ Σ ω6 ¹	0,769 ±0,05**	1,59 ±0,09**	1,94±0,11	0,568±0,05	2,72±0,32*	0,988±0,12	1,041±0,15	1,36±0,22	1,34±0,25
Сумма полиеновых ЖК	15,11 ±1,07**	22,22 ±1,15**	15,48±0,85	13,38±0,82	24,09±1,74	35,73±1,52*	32,87±1,72*	26,77±1,82	26,48±1,75
Σ полиеновых/ Σ насыщенных ²	0,403 ±0,05	0,565±0,07	0,465±0,05	0,427±0,06	0,849±0,11	1,610±0,18**	1,361±0,21	0,816±0,08	0,872±0,10

Примечания: ~ – в следовых количествах;

¹ сумма жирных кислот линоленового типа / сумма жирных кислот линолевого типа;

² сумма полиненасыщенных жирных кислот / сумма насыщенных жирных кислот;

* – p<0,01 (по t-критерию Стьюдента);

** – p<0,05 (по t-критерию Стьюдента)

В целом, высокий уровень содержания моноеновых ЖК в липидах водных беспозвоночных дает возможность птицам быстро пополнить организм ненасыщенными ЖК, которые включаются в общий метаболизм жиров в организме, подвергаются окислению и служат основным источником энергии для большинства тканей птиц (особенно мышечной).

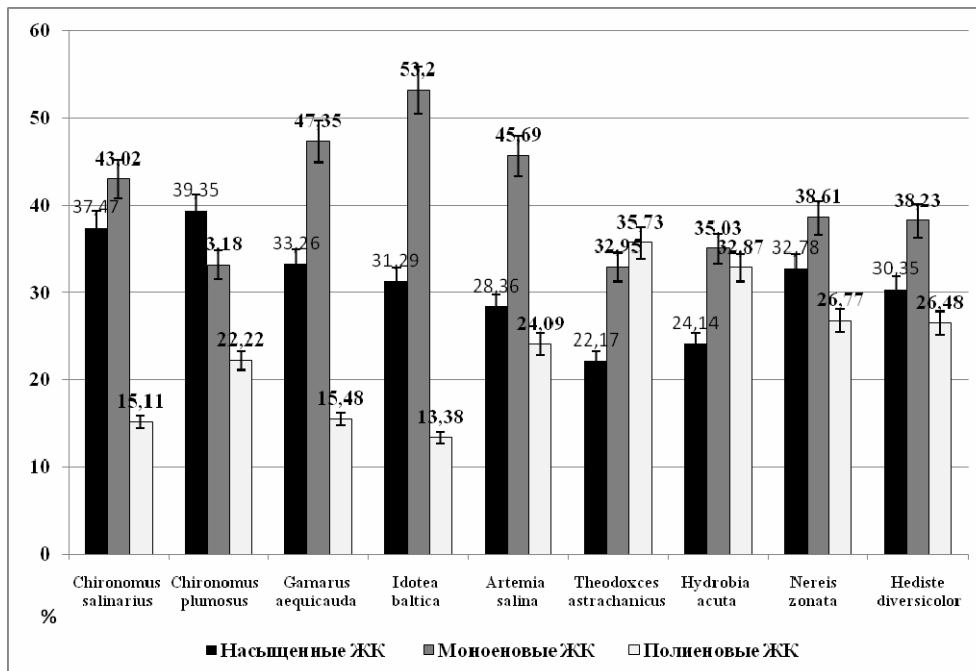


Рис. 1. Соотношение групп ЖК в липидах исследуемых видов беспозвоночных (%)

Наибольший интерес при анализе ЖКС липидов вызывает состав полиеновых ЖК и соотношение в нем $\omega 3$ и $\omega 6$ полиеновых ЖК. Большинство этих кислот являются незаменимыми и поступают в организм птиц только с кормом, поэтому очень важным является насыщенность основных кормов куликов именно этими ЖК. Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) содержание полиеновых ЖК отмечено у моллюсков – 32,87–35,73 % от общей суммы ЖК, что в 2,0–2,7 раза выше, чем содержание полиеновых ЖК у других исследованных видов беспозвоночных (рис. 1).

Сравнивая количество полиеновых ЖК у близкородственных видов хирономусов, которые ведут сходный образ жизни, но обитают в водоемах с разной соленостью воды, установлены достоверные различия ($p < 0,05$) в содержании данных ЖК. Так у *Chironomus plumosus*, обитающего в слабосоленой воде (3–5 ‰), содержание полиеновых ЖК в 1,5 раза выше, чем у *Chironomus salinarius*, обитающий в сильносоленой воде (86,8 ‰). Соленость воды в водоемах влияет на качественный состав фитопланктона, а соответственно, и на количество полиеновых ЖК в липидах беспозвоночных, обитающих в водоемах с разной соленостью воды. Соответственно, питание куликов одними и теми же видами беспозвоночных, но на различных территориях, которые отличаются гидрологическим режимом, может по-разному влиять на скорость жиронакопления в организме птиц.

Уровень полиеновых кислот влияет на коэффициент ненасыщенности ЖКС липидов (Σ полиеновых/ Σ насыщенных), высокий уровень которого свидетельствует о повышении жидкостности клеточных мембран и интенсификации окислительных процессов в организме животного (Krebs, 1981). Этот показатель был достоверно наиболее высоким ($p < 0,05$) у моллюсков (1,361–1,610), высокая степень

ненасыщенности ЖК отмечена у полихет – 0,816–0,872 и у *Artemia salina* – 0,849 (рис. 2). Данные показатели свидетельствуют о том, что именно эти виды беспозвоночных являются для куликов основным источником полиеновых ЖК, которые способствуют повышению коэффициента ненасыщенности липидов в тканях птиц и, тем самым, улучшают обменные процессы в организме птиц в предмиграционный период и во время самой миграции.

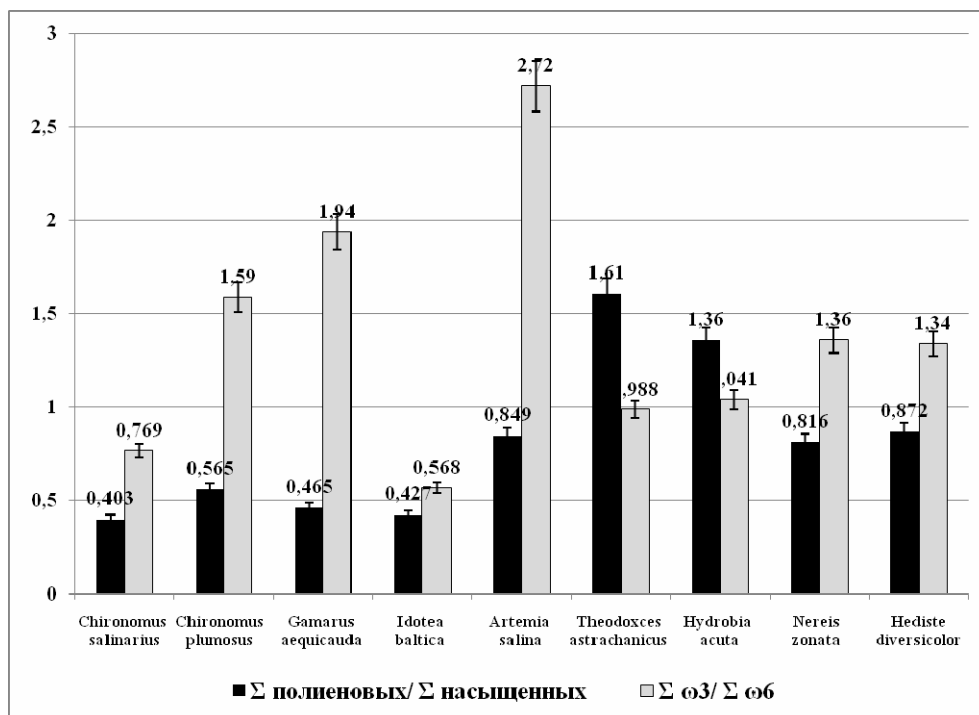


Рис. 2. Коэффициент ненасыщенности ЖК (Σ полиеновых / Σ насыщенных) и соотношение ЖК линолевого и линоленового типа (Σ ω3 / Σ ω6) в липидах исследуемых видов беспозвоночных

Полиеновые ЖК линоленового типа (ω3) имеют большое значение в энергетическом метаболизме клетки, влияют на состояние мембран и их проницаемость. Спектр ω3 полиеновых ЖК у исследуемых беспозвоночных представлен кислотами C18:3, C20:5 и C22:6. Линоленовая кислота C18:3 является предшественником эйкозапентаеновой C20:5 и докозагексаеновой 22:6ω3 кислот, степень ее трансформации зависит от содержания в организме животного ферментов-десатураз (Крепс, 1981). Наибольшее количество данной кислоты отмечено у *Chironomus plumosus* – 8,87 % и *Theodoxces astrachanicus* – 6,93 %, наименьшее – у *Idotea baltica* – 0,61 % от общего содержания ЖК. Достоверные отличия ($p < 0,01$) были отмечены в содержании данной кислоты у близкородственных видов хирономусов (*Ch. salinarius* – 0,83 %, *Ch. plumosus* – 8,87 %), что также подтверждает влияние солености воды на ЖКС липидов беспозвоночных.

Среди всего спектра ω3 полиеновых ЖК отмечено наибольшее содержание эйкозапентаеновой C20:5 ЖК, отражающей количество растительной пищи в рационе водных беспозвоночных, ее содержание выше у фитофагов (Suschik, 2008). Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество C20:5 зафиксировано у *Artemia salina* – 13,18 % от суммы ЖК, что в 2,3–2,7 раза выше, чем содержание C20:5 у хирономусов, и в 5,4 раза выше содержания данной ЖК у *Idotea baltica*. По результатам наших исследований *Artemia salina*, а также моллюски и полихеты,

являются основным источником ейкозапентаеновой кислоты для куликов. Эта ЖК в организме птиц принимает участие в формировании мембран клеток, образовании гормонов, регулирует транспорт липидов в крови, улучшает процессы всасывания жиров и жирорастворимых витаминов в желудочно-кишечном тракте, а также регулирует водный баланс в организме птиц (McWilliams, 2004). Интенсификация этих процессов в премиграционный период обеспечивает повышение выносливости организма птиц во время миграций, а значит – и ее успешное завершение.

Важное значение в адаптивных реакциях организма животных принадлежит докозагексаеновой кислоте С22:6, которая благодаря особенностям структуры, обладает уникальными свойствами, позволяющими ей вместе с другими компонентами биомембран выполнять функции температурного стабилизатора липидных бислоев. Включение в мембраны С22:6 кислоты является одним из основных способов быстрого реагирования на любые изменения температуры окружающей среды и стабилизации липидного бислоя в течение непродолжительного периода (Krebs, 1981). В ЖКС липидов исследованных беспозвоночных данная кислота содержится у хирономусов в следовых количествах, у остальных видов ее содержание составляет 1,70–2,62 % от общего количества ЖК. Вероятнее всего, это связано с различными условиями обитания этих видов: хирономусы, которые обитают в иле, менее чувствительны к изменениям температуры, чем остальные виды. Следовательно, включение докозагексаеновой кислоты в состав биомембран снижает чувствительность литоральных беспозвоночных к колебаниям температуры, солености и другим экологическим факторам.

Моллюски и артемия являются для куликов источником докозагексаеновой кислоты, которая помогает тканям птиц – дальних мигрантов быстро реагировать на изменения температуры окружающей среды, так как за несколько часов перелета птицы выдерживают значительные колебания температур, попадая из одной климатической зоны в другую.

Кислоты линолевого типа ($\omega 6$) имеют не менее важное значение в метаболизме животных, чем кислоты линоленового типа. Спектр $\omega 6$ полиеновых ЖК у исследуемых беспозвоночных представлен линолевой С18:2 и арахидоновой С20:4 кислотами. Линолевая кислота является предшественником арахидоновой кислоты, которая, в свою очередь, является предшественником эйкозаноидов – сигнальных веществ, образующихся в клетках и обуславливающих ряд важнейших процессов в организме (Krebs, 1981).

Установлено, что содержание линолевой С18:2 кислоты в липидах исследуемых беспозвоночных было достоверно наибольшим ($p < 0,05$) у *Hediste diversicolor* – 9,24 % от суммы ЖК. Также установлены достоверные отличия ($p < 0,01$) в содержании арахидоновой С20:4 кислоты, наибольшее ее количество содержится в липидах *Theodoxces astrachanicus* – 10,53 %, что в 11–16 раз выше, чем содержание данной кислоты у хирономусов.

Следовательно, наиболее эффективным источником кислот линолевого типа ($\omega 6$) для куликов являются моллюски и полихеты. Поступая вместе с кормом в организм птиц, эти кислоты обеспечивают синтез простагландинов и тромбаксанов – веществ, которые улучшают процессы сокращения мышечной ткани и кровообращения в мышечных волокнах, а это, в свою очередь, повышает выносливость мышц и обеспечивает птицам успешное завершение миграции.

Известно, что температура плавления кислот линолевого ряда ($\omega 6$ типа) выше, чем кислот линоленового ряда ($\omega 3$ типа), отношение суммы $\omega 3$ кислот к сумме $\omega 6$ кислот ($\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$) является показателем вязкости мембранных липидов. Высокий показатель $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ свидетельствует о низкой вязкости мембран и высокой интенсивности обменных процессов, а также способности быстрого накопления биомассы (Zhukova, 2009). Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) значение $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ нами отмечено у *Artemia salina* (рис. 2).

Из полученных данных также следует, что в липидах разных видов беспозвоночных соотношение $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ может существенно отличаться, на что влияет ряд факторов: спектр питания, температура и соленость воды. Так, у близкородственных видов хирономусов отмечены достоверные отличия ($p < 0,05$) по данным показателям. Соотношение $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ у *Chironomus plumosus* в 2 раза выше, чем данный показатель у *Chironomus salinarius*, что отражает различия в спектре питания при разной солености воды, но сходном образе жизни и типе питания.

В целом, анализ спектра полиеновых ЖК в липидах исследуемых беспозвоночных и соотношение в нем кислот линолевого и линоленового типа, может свидетельствовать о том, что содержание данных кислот в липидах водных беспозвоночных зависит от их спектра питания и условий окружающей среды. Мелководья Азово-Черноморского региона характеризуются разными климатическими характеристиками и большим запасом фитопланктона. Этим объясняется массовость исследуемых видов беспозвоночных на определенных кормовых полях и их использование, как основных кормовых объектов, многими видами куликов.

ВЫВОДЫ

Литоральные беспозвоночные являются незаменимым источником полиеновых ЖК для куликов во время миграционных остановок. Массовость и доступность этих видов дает возможность птицам за короткий промежуток времени пополнить свой организм НПЖК, которые оказывают существенное влияние на энергетический метаболизм через изменения в мембранных структурах и системных механизмах клетки. Поступая в организм дальних мигрантов с кормом, эти ЖК повышают окислительные способности и служат молекулярными сигналами важнейшим летным мышцам птиц при экстремальных нагрузках (Maillet and Weber, 2009).

По результатам наших исследований установлено, что наиболее значимым кормом для куликов по содержанию ПНЖК являются моллюски, полихеты и *Artemia salina*. Моллюски содержат наибольшее количество полиеновых ЖК, особенно арахидоновой C20:4. Полихеты также содержат высокий уровень полиеновых ЖК, которые служат для птиц источником как кислот линолевого, так и линоленового ряда. Содержание в *Artemia salina* большого количества эйкозапентаеновой C20:5 $\omega 3$ и докозагексаеновой C22:6 $\omega 3$ кислот и массовость этого вида на кормовых полях способствует тому, что кулики за короткий промежуток времени могут пополнить свой организм необходимым количеством этих НПЖК.

Установлено, что на ЖКС липидов литоральных беспозвоночных влияет ряд факторов окружающей среды, таких как температура и соленость воды, поэтому антропогенная нагрузка и смена гидрологического режима водоемов могут влиять на содержание ЖК в липидах литоральных беспозвоночных. Это обстоятельство, в свою очередь, может отражаться на кормовом поведении и миграционной стратегии птиц, останавливающихся на местах миграционных остановок в исследуемом регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Battley, P. P. et al., 2005.** How do red knots *Calidris canutus* leave Northwest Australia in May and reach the breeding grounds in June? Predictions of stopover times, fuelling rates and prey quality in the Yellow Sea. *J. Av. Biol.* 36(6), 494–500.
- Bishop, D. G., Kenrick, J. R., 1980.** Fatty acid composition of symbiotic zooxanthellae in relation to their host. *Lipids.* 15, 799–804.
- Chernichko, I. I., 2010.** Osobennosti polovozrastnogo sostava migrirujushhih na Sivashe *Calidris alpina* (Aves, Charadriiformes) [Characteristics of Sex and Age Composition of *Calidris alpina* (Aves, Charadriiformes) Migrating Across Sivash]. *Vestnic Zoologii.* 44(5), 433–444 (in Russian).
- Chernichko, I. I., Kirikova, T. A., 1999.** Makrozoobentos Sivasha i svjazannoe s nim razmeshhenie kulikov [Macrozoobenthos Syvash and associated accommodation waders]. Fauna, ecology and conservation of birds in the Azov-Black Sea region. Collection of scientific

papers, Ecocenter "Synthesis HT" Reskomprirody Crimea. Sonat, Simpheropol (in Russian).

Dalsgaard, J. et al., 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Adv. Marine Biol.* 46, 227–340.

Folch, J., Less, M., Sloane-Stanley, A. G. H., 1957. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497–509.

Guy, M. R. I., Davidson, N. C., Wilson, J. R., 2007. Survival of the fattest: Body stores on migration and survival in red knots *Calidris canutus islandica*. *J. Avian Biol.* 38 (4), 479–487.

Ilyichev, V. D., Kartashev, N. N., Shilov I. A., 1982. *Obschaya ornitologiya* [General ornithology]. Vishaya shkola, Moscow (in Russian).

Kharchenko, L. P., Lykova, I. O., 2012. Zmieni zhiromokyslotnogo sostava lipidov v tkanjah samcov turuhtana (*Philomachus pugnax* L.) na promezhutochnykh migracionnykh ostanovkah Azovo-Chernomorskogo regiona [Changes in fatty acid composition of lipids in the tissues of male Ruff (*Philomachus pugnax* L.) at intermediate stops migration of the Azov-Black Sea region]. *Vesn. Cherkas. Univ. Ser. Biol.* 39(252), 131–139 (in Russian).

Khomenko, S. V., 2003. Feeding ecology of curlew sandpiper, *Calidris ferruginea*, during spring stopover in the Sivash Bay (Ukraine). *Vestnik Zoologii.* 37(2), 97–99.

Kirikova, T. A., 2000. Znachenie kormovykh resursov vnutrennih, ustevykh zalivov Tuzlovskoy gruppy limanov dlja migrirujushchih kulikov [Value of forage resources internal estuarine bays Tuzlovskoy group estuaries for migratory shorebirds]. *Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station.* 3, 87–94 (in Russian).

Kirikova, T. A., 2003. Predvaritel'naja oценка roli limannykh i lagunnykh sistem juga Ukrainy kak mest migracionnykh ostanovok kulikov-pesochnikov na kontinental'nom migracionnom puti [Preliminary assessment of the role of the estuary and lagoon systems southern Ukraine as staging locations sandpiper sandpipers-continental migration route]. *Birds of the Azov-Black Sea region. Monitoring and protection: Proceedings of the II Congress and Conference Azov-Black Sea Ornithological Station, Mykolayiv: Mykolayiv State University,* 27–29 (in Russian).

Kirikova, T. A., Antonovsky, A. G., 2007. Ispolzovanie kulikami kormovogo makrozoobentosa Molochnogo limana v period migracii [Use of feeding macrozoobenthos of Molochny Liman by waders during migration].

Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station. 10, 74–97 (in Russian).

Kirikova, T. A., Antonovsky, A. G., 2011. Rol limanov i lagun Azovo-Chernomorskogo poberezh'ja v obespechenii kormovoj bazy tundrovyykh kulikov [The role of lyman and lagoons of the Azov-Black Sea coast in supplying the feeding base of tundra waders]. *Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station.* 14, 73–93 (in Russian).

Kreps, E. M., 1981. Lipidy kletochnykh membran [Lipids of cell membranes]. Nauka, Leningrad (in Russian).

Lykova, I. O., 2012. Zminy zhiromokyslotnogo skladu lipidiv u tkanynah riznykh organiv kulykiv u peredmigracijnyj period [Changes in fatty acid composition of lipids in tissues of different organs of waders in the pre-migration period]. *Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station.* 15, 94–101 (in Ukrainian).

Lykova, I. O., Kharchenko L. P., 2011. Sezonnii kolyvannja zhiromokyslotnogo skladu lipidiv m'jazovoi' tkanyny dejakykh vydiv kulykiv [Seasonal fluctuations of the lipid fatty acids composition of the muscle tissue of some species of the sandpipers]. *Biology and Valeology: collection of scientific works.* 13, Kharkiv, 38–43 (in Ukrainian).

Maillet, D., Weber, J. M., 2006. Performance enhancing role of dietary fatty acids in a long-distance migrant shorebird: The semipalmated sandpiper. *J. Exp. Biol.* 209(14), 2686–2695.

Maillet, D., Weber, J. M., 2009. Relationship between n-3 PUFA content and energy metabolism in the flight muscles of a migrating shorebird: Evidence for natural doping. *Adv. Integr. Anat. and Evol. Biol.* 292(11), 413–420.

McWilliams, S. R., Guglielmo, Ch., Pierce, B., Klaassen, M., 2004. Flying, fasting, and feeding in birds during migration: a nutritional and physiological ecology perspective. *J. Avian Biol.* 35, 377–393.

Piersma, T. et al., 2003. Cost-benefit analysis of mollusc-eating in a shorebird. I. Foraging and processing costs estimated by the doubly labelled water method. *J. Exp. Biol.* 206, 3361–3368.

Rivis, J. F., Skorohid, I. V., Danilik, B. B., Procik, J. M., 1997. Odnochasne gazohromatograficzne vyznachennja okremykh eteryfikovanykh i neeteryfikovanykh vysokomolekuljarnykh kyslot u biologichnomu materiali [Simultaneous chromatographic

determination of some esterified and high nonetherified acids in biological material]. Ukrainian Biochemical Journal. 69 (2), 110–115 (in Ukrainian).

Suschik, N. N., 2008. Rol nezamenimyh zhirnyh kislot v trofometabolicheskikh vzaimodejstvijah v presnovodnyh jekosistemah (obzor) [The role of essential fatty acids in trofometabolicheskikh interactions in freshwater ecosystems (review)]. Journal of General Biology. 69 (4), 299–316 (in Russian).

Yohannes, E. Valcu, M., Lee, R., Kempnaers, B., 2010. Resource use for reproduction depends on spring arrival time and wintering area in an arctic breeding shorebird. J. Avian Biol. 41, 580–590.

Zhukova, N. V., 2009. Zhirnye kisloty morskih organizmov: taksonomicheskie i troficheskie markery [Fatty acids of marine organisms: taxonomic and trophic markers]. Thesis for obtaining doctor degree of biol. sciences, speciality 03.00.04 Biochemistry. Vladivostoc (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 14.01.14

Рекомендує до друку: акад. НАНУ, д-р біол. наук В. І. Монченко