

УДК 597.562 : 597—1.05 : 597—113.4

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ТКАНЯХ СЕВЕРОМОРСКОЙ САЙДЫ (*Pollachius virens* L.)
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛА, ВОЗРАСТА И СТАДИИ ЗРЕЛОСТИ**

А. Я. Сторожук, С. А. Петухов, Н. П. Морозов

При санитарно-гигиеническом нормировании допустимого содержания металлов в морепродуктах, при построении балансовых биогеохимических моделей миграции металлов в морских экосистемах и решении других научных и практических задач необходимо знание путей поступления, уровней содержания, перераспределения тяжелых металлов в организмах гидробионтов, их биологической роли и степени токсичности.

В последнее время в связи с разработкой различных вариантов программ мониторинга химического состояния морской среды возрос интерес к промысловым рыбам как потенциальным тест-объектам для контроля загрязнения моря различными токсикантами, в том числе и тяжелыми металлами.

При решении всех этих задач, по нашему мнению, необходимо учитывать динамику содержания тяжелых металлов в органах и тканях рыб, обусловленную не только размерными и сезонными различиями (Topping et al., 1975), но и физиологическими и экологическими особенностями организма рыб (пол, стадия зрелости и др.).

В предлагаемом сообщении рассмотрены некоторые из указанных зависимостей на примере североморской сайды. Материал для исследования был собран в Северном море, в районе Шотландских островов и банки Викинг в январе 1974 г.

Пробы тканей и органов сайды массой 20—50 г запаивали в полиэтиленовые пакеты и замораживали. В лаборатории пробы высушивали и озоляли в муфельной печи при температуре не выше 450°C. Навеску золы (0,1—0,5 г) растворяли в концентрированной азотной кислоте (ос. ч) в герметизированном тефлоновом стакане при нагревании до 100°C в течение 2 ч. Полученные растворы вводили в ацетиленово-воздушное пламя атомно-абсорбционного спектрофотометра «Hitachi-207». Стандартные растворы готовили из реактивов особой чистоты и деионизированной воды (Морозов и др., 1974).

Параллельно с отбором проб для определения тяжелых металлов проводился полный биологический анализ исследуемых рыб и отбор проб мышц и гонад для последующего биохимического анализа. Количественное определение липидов проводилось методом, предложенным Дж. Фолчем (Folch et al., 1957). Удельное содержание липидов определялось как отношение абсолютного содержания липидов в печени к массе порки (в г/кг).

Результаты исследований представлены в таблице. Поскольку динамика содержания рассматриваемых металлов в органах и тканях рыб, обитающих в одном районе, обусловлена в значительной степени физиолого-биохимическими особенностями организма рыб (Сторожук,

Никоненко, 1976), наряду с определением содержания металлов в отдельных органах и тканях оценивали некоторые биохимические показатели (содержание липидов).

Содержание тяжелых металлов (в мг % зола) и липидов (в г/кг) в органах и тканях североморской сайды (*Pollachius virens* L.)

| Металл | Самцы | | | | Самки | | | |
|-------------------------------------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| | печень | мышцы | | гонады | печень | мышцы | | гонады |
| | | красные | белые | | | красные | белые | |
| <i>Неповозрелые особи (4—5 лет)</i> | | | | | | | | |
| Марганец | 5,2(1) | — | 3,1(6) | — | 6,3(3) | — | 3,5(2) | 2,4(1) |
| Медь | 16,1(1) | — | 3,4(5) | — | 18,9(3) | — | — | 14,0(1) |
| Цинк | 130,6(1) | — | 73,3(6) | — | 161,8(3) | — | 69,0(2) | 100,0(1) |
| Кобальт | 1,6(1) | — | 1,4(6) | — | 1,5(2) | — | 1,1(2) | 0,8(1) |
| Свинец | 5,6(1) | — | 4,1(7) | — | — | — | 6,2(2) | 1,7(1) |
| Кадмий | 0,4(1) | — | 0,2(7) | — | 0,4(3) | — | 0,3(1) | 0,2(1) |
| Липиды * | 14,9(5)** | 4,11(5) | 0,74(5) | 1,23(5) | 18,5(7)** | 4,72(7) | 0,7(7) | 1,0(7) |
| <i>Половозрелые особи (6—7 лет)</i> | | | | | | | | |
| Марганец | 7,8(3) | 3,7(2) | 3,0(4) | 4,5(4) | 8,5(5) | 2,5(2) | 2,8(9) | 4,4(4) |
| Медь | 27,5(3) | 11,8(2) | 3,6(4) | 13,7(4) | 37,4(5) | 17,7(2) | 5,5(5) | 7,5(4) |
| Цинк | 192,8(3) | 157,5(2) | 106,6(4) | 114,0(4) | 415,7(5) | 113,5(2) | 101,9(5) | 89,7(4) |
| Кобальт | 1,5(3) | 1,3(2) | 1,1(4) | 1,6(4) | 2,4(4) | 1,7(1) | 1,6(4) | 2,3(3) |
| Свинец | 4,3(3) | 3,5(2) | 3,3(4) | 4,5(4) | 4,7(5) | 5,5(2) | 3,3(5) | 3,4(4) |
| Кадмий | 1,1(3) | 0,22(2) | 0,33(4) | 0,3(4) | 1,1(5) | 0,2(2) | 0,3(5) | 0,15(4) |
| Липиды | 26,6(10)** | 5,09(10) | 0,84(10) | 2,64(10) | 35,7(9)** | 6,52(9) | 0,84(9) | 4,49(9) |
| <i>(9 лет)</i> | | | | | | | | |
| Марганец | 6,4(3) | — | — | 2,7(1) | 6,7(3) | 4,0(3) | 3,1(3) | 3,7(3) |
| Медь | 21,0(3) | — | — | 7,0(1) | 38,9(3) | 6,9(3) | 4,3(6) | 9,7(3) |
| Цинк | 157,8(3) | — | — | 88,4(1) | 191,3(3) | 112,5(3) | 81,5(6) | 158,5(3) |
| Кобальт | 1,4(3) | — | — | 1,4(1) | 1,5(3) | 1,5(3) | 1,2(6) | 1,6(3) |
| Свинец | 4,1(3) | — | — | 2,1(1) | 4,9(3) | 4,9(3) | 3,9(6) | 3,6(3) |
| Кадмий | 0,8(3) | — | — | 0,13(1) | 0,4(3) | 0,3(3) | 0,2(6) | 0,2(3) |
| Липиды | 40,2(4)** | 5,46(4) | 0,84(4) | 2,19(4) | 43,1(8)** | 5,81(8) | 0,64(8) | 4,34(8) |

* Относительное содержание.

** Удельное содержание.

Примечание. В скобках — число исследованных особей.

Учитывая значительные физиолого-биохимические изменения в организме сайды в период ее созревания и старения (Сторожук, 1976), все исследованные рыбы были разделены на три группы:

1) неполовозрелые особи в возрасте 4—5 лет (III стадия развития гонад);

2) средневозрастные половозрелые особи в возрасте 5—7 лет, (IV стадия развития гонад);

3) старые половозрелые особи в возрасте более 9 лет (IV стадия развития гонад).

Кроме того, учитывая специфику обменных процессов у особей разного пола (Сторожук, 1976), самцов и самок сайды рассматривали отдельно. Сравнение полученных результатов с аналогичными данными по североморской сайде Г. Топпинга с соавторами (Topping et al. 1974) обнаруживает различия, видимо, вследствие разницы в методах отбора, предварительной обработки и анализа проб.

Печень. Наибольшая концентрация исследованных металлов отмечена в печени. И у самцов, и у самок содержание большинства из рассматриваемых металлов в печени было выше у половозрелых рыб, чем у неполовозрелых, что может быть связано с особенностями спектра

питания сравниваемых групп рыб, а также со спецификой биохимических процессов в печени неполовозрелых и половозрелых особей. Параллельное изучение биохимических процессов в организме и микроэлементного состава органов позволяет предположить связь между обменными процессами (в частности липидным обменом) и концентрацией некоторых микроэлементов группы металлов (Боечко, 1974). Известно, что липидный обмен связан с ферментной системой КоА. Микроэлементы, изменяя активность липолитических ферментов, воздействуют на отдельные стороны липидного обмена (Бойнар, 1953; Боечко, 1974; Porter et al., 1957).

Исследование содержания липидов в печени у неполовозрелой и половозрелой сайды показало, что относительное содержание липидов, а также удельное содержание липидов выше у половозрелых рыб.

Среди половозрелых рыб концентрация микроэлементов ниже у «старых» особей по сравнению со «средневозрастными». Ранее было отмечено (Сторожук, Никоненко, 1976), что у сайды зимой на фоне резкого снижения интенсивности питания происходит активный гонадогенез и микроэлементы, так же как и органические компоненты (липиды и белки), используются в построении генеративной ткани, поступая из печени и мышц. При этом в результате большой относительной массы гонад эндогенные траты у особей старшего возраста выше, отчего содержание исследуемых металлов в печени у «старых» особей сайды ниже, чем у «средневозрастных».

Более низкое содержание как липидов, так и ряда биологически важных микроэлементов в печени самцов по сравнению с самками, по-видимому, связано с повышенным темпом генеративного обмена самцов в осенне-зимний период при отрицательном общем балансе.

При выявлении сезонной, возрастной, половой динамики содержания металлов в печени необходимо учитывать не только биохимическую, но и морфологическую изменчивость этого органа, так как иначе можно сделать биологически неверные выводы. Например, снижение относительной концентрации металлов в печени сайды в нагульный период не означает изменения абсолютного количества того или иного элемента в органах, так как масса печени увеличивается в этот период более, чем вдвое. В этом случае, сравнивая относительное содержание того или иного элемента в печени у двух особей одной популяции, отловленных в один и тот же сезон в разных районах ареала, но находящихся в различном физиологическом состоянии (например, половозрелая самка и неполовозрелый самец) можно сделать неправильный вывод о различном содержании этого элемента в исследованных районах, предположив одинаковый уровень биоаккумуляции.

Мышцы сайды, как и большинства других рыб, представлены белыми скелетными мышцами и красной латеральной мускулатурой.

В красных мышцах, которым свойственна повышенная метаболическая активность (Braekkan, 1956; Wittenberger, 1967), содержание липидов выше, чем в белых (Braekkan, 1958). Как видно из таблицы, содержание таких биологически важных металлов, как Zn и Cu в красных мышцах как самцов, так и самок выше, чем в белых.

Содержание исследованных металлов в белых мышцах половозрелых и неполовозрелых рыб довольно сходно. Можно отметить лишь повышенную концентрацию Zn в мышцах «средневозрастных» рыб.

Гонады. Содержание металлов в гонадах всех рассматриваемых возрастных и половых групп близко к содержанию металлов в мышцах. В гонадах старых самцов рассматриваемых металлов содержится меньше, чем в гонадах средневозрастных. Для гонад самок этих же возрастных групп различия в содержании металлов выражены гораздо слабее.

Как видно из таблицы, содержание липидов в гонадах всех рассмотренных групп рыб соответствует содержанию металлов.

В работах посвященных рассматриваемым вопросам (Сторожук, Никоненко, 1976; Portman, 1973; Torpiing et al., 1975; Bohn, Mc Elroy, 1976), в настоящее время трудно выявить какие-либо четкие тенденции в динамике тяжелых металлов в органах и тканях рыб в зависимости от сезонной и возрастной (размерной) изменчивости особей. Исключение составляет ртуть, зависимость накопления которой от возраста (размера), положения в трофической цепи рыб показана многими исследователями (Peterson et al., 1973; Scott, 1974; Waldichuk, 1974; Vacci et al., 1976). Отсутствие выраженных тенденций в отношении других тяжелых и переходных металлов объясняется, на наш взгляд, недостаточно точным соблюдением всех критериев при отборе особей того или иного вида рыб для анализа. Например, часто, анализируют сборные пробы, куда входят рыбы одного вида, которые могут различаться по половым, возрастным и другим характеристикам. Если учесть еще различия в методах подготовки и анализа проб, то становится понятной противоречивость некоторых данных и выводов разных авторов.

Таким образом, можно предположить, что возрастные различия в содержании металлов в органах и тканях рыб, обитающих в одном районе, обусловлены главным образом физиолого-биохимическими особенностями онтогенеза и в меньшей степени возрастом (размером) рыб как характеристикой времени накопления индивидуальных химических элементов из водной среды. Поэтому отбор проб для изучения сезонной, половой, возрастной (размерной) изменчивости содержания металлов, должен быть таким, чтобы получить полную информацию по каждой из исследуемых особей.

ВЫВОДЫ

1. Концентрация исследованных микроэлементов в печени, мышцах и гонадах сайды Северного моря обусловлена их морфо-функциональными особенностями.

2. Существует возрастная и половая изменчивость содержания металлов в органах и тканях сайды; можно предположить существование связи между обменными процессами (в частности липидным обменом) и концентрацией рассмотренных металлов.

3. Наибольшая концентрация металлов наблюдается в печени сайды, наименьшие — в белой скелетной мускулатуре.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Боечко Ф. Ф. Изучение роли микроэлементов (кобальта, марганца, олова) в липидном обмене.— Автореферат диссертации на соиск. уч. степен. д-ра биол. наук. Киев, 1974, 52 с.

Бойнар А. О. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М., «Советская наука», 1953, 491 с.

Морозов Н. П., Тихомирова А. А., Никоненко Е. М. Опыт определения микроэлементного состава морских гидробионтов.— «Труды ВНИРО», 1974, т. 100, с. 28—31.

Сторожук А. Я. Сезонная динамика физиолого-биохимического состояния сайды (*Pollachius virens* L.) Северного моря.— «Труды ВНИРО», 1975, т. 96, с. 114—120.

Сторожук А. Я., Никоненко Е. М. Сезонные изменения содержания отдельных микроэлементов в организме сайды.— «Материалы VII Международного симпозиума по морской медицине», 23—30 сентября 1976 г., Одесса, М., 1976, 94 с.

Vacci, E., Angotzi, G., Bralia, A., Lampariello, L., Zanette, E. Etude sur une population humaine exposée au methylmercury par la consommation de poisson. Revue Int. d'océanogr. médicale, 1976, t. XLI—XLII, p. 127—142.

Bohn Arne, McE lroy, R. O. Trace metals (As, Cd, Cu, Fe, Zn) in Arctic cod (*Boreogadus saida*) and selected zooplankton from Stratheona Sound, North Baffin Island. J. Fish. Res. Bd. Can. 1976, v. 33, No. 12, y. 2836—2840.

Braekkan, O. R. Function of the red muscle in fish. Nature, 1956, v. 178, No. 4536, p. 747—748.

Braekkan, O. R. Vitaminer: Norsk Fisk III. Reports on technological research concerning Norwegian fish industry. 1958, v. III. No. 6, p. 32.

Folch, J., Lees, M., Stanley, S. G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. J. Biol. Chem., 1957, v. 226, No. 1, p. 498—509.

Peterson, C. L., Klawe, W. L., Sharp, G. D. Mercury in tunas, a review. Fish. Bull., 1973, v. 71, No. 3, p. 603—613.

Porter, I. W., Wakil, S. J., Tietz, A., Jacob, M. I., Gibson, D. M. Studies on the mechanism of fatty acid synthesis II. Cofactor requirements of the soluble pigeon liver system. Biochem. et Biophys. Acta, 1957, v. 242, No. 5393, p. 95—97.

Portman, J. P. The relationship between age of fish and the levels of accumulated substances. ICES, C. M., 1973/E: 12, 6 p.

Scott, D. P. Mercury concentration of white muscle in relation to age, growth and condition in four species of fishes from Clay Lake, Ontario. J. Fish. Res. Bd. Can., 1974, v. 31, No. 11, p. 1723—1729.

Topping, G., Pirie, J. M., Graham, W. C., Shepherd R. J. An examination of the heavy metal levels in muscle, kidney and liver of saithe in relation to year class, area of sampling and season. ICES, C. M. 1975/E: 37, 8 p.

Waldichuk, M. Some biological concerns in heavy metals pollution. In «Pollution and physiology of marine organisms». Ed. F. J. Vernberg & W. B. Vernberg, 1974, Acad. Press Rapid Manuscript Reproduction, N. Y., S. Fr., Lon., p. 1—58.

Wittenberger, C. On the function of the lateral red muscle of teleost fishes. Rev. Roumaine Biol. Ser. zool., 1967, c. 12, No. 2, p. 139—144.

Variations in the content of heavy and transient metals in tissues of saithe (Pollachius virens L.) from the North Sea with regard to sex, age and maturity stage

Storozhuk A. Ya., Petukhov I. A.,
Morozov N. P.

SUMMARY

The analysis of variations in the content of zinc, copper, cobalt, cadmium, manganese and lead in white and red muscles, liver and gonads of the saithe has shown that the maximum concentrations of the trace metals occur in the liver whereas the lowest concentrations are observed in white skeletal muscles. The analysis has revealed a positive correlation between the amount of fat accumulated in the liver and concentration of the metals involved. Besides, the content of trace elements is also higher in the liver of mature fish of both sexes. However the trend is more distinctly seen in females which seems to be due to a more intensive generation metabolism in males in autumn and winter. The content of heavy metals and lipids is higher in the lateral red muscles than in white muscles because of a more intensive metabolic activity of the latter. The content of metals in organs and tissues of saithe of both sexes is mainly dependent upon morphofunctional characteristics of tissues at different stages of ontogenesis.