



УДК 551.464:541(28):628.394

Г. Е. Лазоренко, канд. биол. наук, ст. н. с., **Г. Г. Поликарпов**, акад. НАН Украины, гл. н. с.,
А. В. Гаевская, докт. биол. наук, зав. отд., **Ю. М. Корнийчук**, канд. биол. наук, н. с.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,
Севастополь, Украина

ПОЛОНИЙ-210 – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРИРОДНЫЙ РАДИОТРАССЕР ТРОФИКО-ПАЗАРИТАРНЫХ СВЯЗЕЙ ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА

Представлены данные о концентрации ^{210}Po в черноморском шпроте и его органах, а также в паразитирующих у шпрота личинках нематоды *Hysterothylacium aduncum*. Показано, что этот радионуклид может служить природным индикатором трофико-паразитарных связей черноморского шпрота.

Ключевые слова: полоний-210, черноморский шпрот, органы, нематоды, Чёрное море

Альфа-излучающий радионуклид ^{210}Po – один из 33 радиоактивных изотопов естественного радиоэлемента полония (атомный номер 84) – образуется в результате распада природной радиоактивной серии ^{238}U – ^{226}Ra . Атмосферные выпадения – основной путь поступления ^{210}Po в морскую среду вследствие распада ^{222}Rn и его дочерних изотопов [7, 10, 12]. Кроме атмосферного, существуют и другие источники поступления этого радионуклида в моря и океаны, в том числе отходы промышленности по производству фосфорной кислоты и фосфатов, а также загрязнение акватории морских портов при погрузке и транспортировке руд, содержащих фосфорные соединения [8, 11, 13, 15].

Поступая в морскую среду, ^{210}Po тотчас включается в биогеохимические процессы, происходящие как на поверхности морей, так и в их толще [7, 11]. В морской среде ^{210}Po связывается, прежде всего, взвешенным органическим веществом и затем вместе с пищей переносится по трофической цепи от водорослей и мелких беспозвоночных к крупным беспозвоночным и рыбам [7, 10, 12].

В организм человека ^{210}Po попадает с морскими продуктами, формируя внутреннюю дозу облучения, составляющую около 50 – 70 % от суммарного вклада в неё других природных радиоэлементов [7, 10]. Соотношение доз облучения от ^{210}Po и представителя антропогенных радионуклидов ^{137}Cs достигает порядка 10^2 – 10^3 [7, 10, 12]. В связи с этим актуальность изучения поведения ^{210}Po в морских организмах, представляющих пищевую ценность для человека, очевидна. Поскольку ^{210}Po ассоциирован с протеинами [7, 16], это позволяют изучать аккумуляцию данного радионуклида морскими организмами и его транспорт по пищевым цепям.

Систематические исследования способности черноморских гидробионтов аккумуляции ^{210}Po проводились в отделе радиационной и химической биологии ИнБИОМ НАН Украины в рамках международного технического проекта МАГАТЭ RER/2/003 «Оценка состояния окружающей среды в Чёрном море» (1995 – 2003 гг.).

В результате предварительного определения содержания ^{210}Po в черноморских рыбах

выявлены основные виды – концентраторы этого радионуклида [3, 5], и среди них шпрот *Sprattus sprattus phalericus* (Risso), самая массовая промысловая рыба в Чёрном море [2]. Учитывая коммерческую ценность и растущие объёмы промысловой добычи черноморского шпрота, основная задача настоящей работы состояла в изучении способности целых рыб и их отдельных органов аккумулировать ^{210}Po .

Известно, что черноморский шпрот заражён личинками нематоды *Hysterothylacium aduncum* (Rud., 1802) с высокой экстенсивностью и интенсивностью инвазии. Попадание нематод к данному хозяину происходит только с кормовыми объектами, т.е. с зоопланктоном, в основном с копеподами [1, 6]. В связи с этим мы поставили задачу оценить степень возможного участия данного паразита в аккумуляции ^{210}Po шпротом. Предварительные результаты этого исследования по материалам, полученным в июне – августе 1999 г., опубликованы ранее [4].

В настоящей работе представлены результаты определения концентраций ^{210}Po в воде, черноморском шпроте, его отдельных органах и паразитирующих у него нематодах.

Материал и методы. Шпрот стандартной длиной от 5.6 до 10 см был отловлен в традиционных для Севастополя районах промысла (возле мысов Лукулл и Сарыч) в 1999 – 2003 гг.

Для проведения радиохимического анализа целых тушек шпрота их перемалывали на мясорубке с пластмассовым кожухом и отбирали 3 параллельные навески по 5 г сырой массы. Скелеты рыб анализировались вместе с хвостовым плавником. Радиохимический анализ проб проводили по методике, разработанной в РИСОЕ Национальной Лаборатории (Дания) [9]. Для количественной оценки качества анализа (химического выхода) в каждую пробу вносили трассер ^{208}Po ($T_{1/2} = 2.898$ года). Конечный этап в радиохимическом выделении ^{210}Po – спонтанное осаждение его и трассера на дисках из серебряной фольги при температуре

85 – 90°C в течение 3.5 ч. После завершения процедуры осаждения диски трижды промывали в дистиллированной воде, сушили в течение 15 мин при 60°C. Измерение ^{208}Po и ^{210}Po , осевших на дисках, проводили на альфа-спектрометре ОСТÊТÊ РС фирмы EG&G ORTEC.

Для сбора личинок нематоды *H. aduncum* каждая обследуемая проба состояла в среднем из 150 рыб. Собранных личинок перед проведением анализа промывали в морской воде.

Результаты и обсуждение. В исследованной нами поверхностной воде в местах отлова рыбы концентрации ^{210}Po в среднем были равны $0.84 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$.

Концентрации ^{210}Po в целых тушках черноморского шпрота снижались с увеличением их стандартной длины и, следовательно, возраста рыб (рис. 1). Такая же тенденция отмечена для взятых целиком внутренних органов рыб разной стандартной длины (рис. 2).

В исследованных особях шпрота разного возраста соотношение вклада отдельных органов и тканей в аккумуляцию рыбами ^{210}Po было постоянным. Его можно представить в виде ряда: желудки > скелеты > жабры > мускулатура (рис. 3).

Ранее было показано [10, 12], что у сельдёвых рыб, к которым относится и черноморский шпрот, обитающих в других морях и океанах, распределение ^{210}Po в разных органах носит сходный характер. Авторы подчёркивают, что данный радионуклид поступает в пелагических планктоноядных рыб только пищевым путём, а именно, с зоопланктоном [10, 12].

Результаты собственного исследования способности черноморского шпрота аккумулировать ^{210}Po свидетельствовали о том, что концентрации этого радионуклида в целых тушках рыб зависели от времени года, а его наименьшие величины оказались приуроченными к периоду массового развития гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz – главного конкурента этого вида рыб за пищу – зоопланктон (рис. 4) [14].

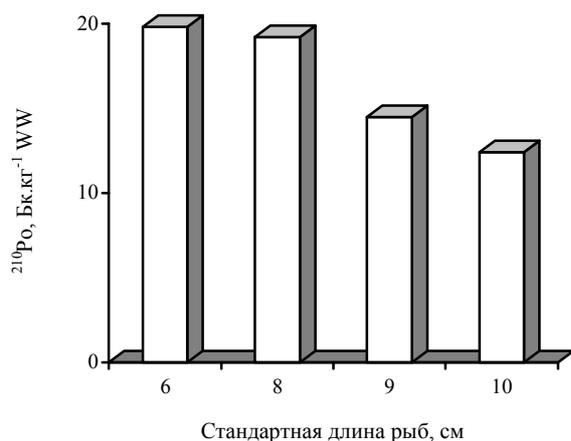


Рис. 1 Зависимость концентрации ^{210}Po в целых тушках черноморского шпрота от стандартной длины рыб

Fig. 1 Dependence of ^{210}Po concentrations in an entire bodies of the Black Sea sprat on its standard length

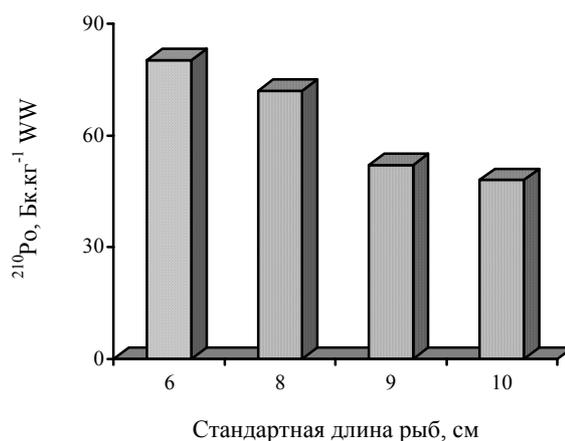


Рис. 2 Зависимость концентрации ^{210}Po во внутренних органах черноморского шпрота от стандартной длины рыб

Fig. 2 Dependence of ^{210}Po concentrations in viscera of the Black Sea sprat on its standard length

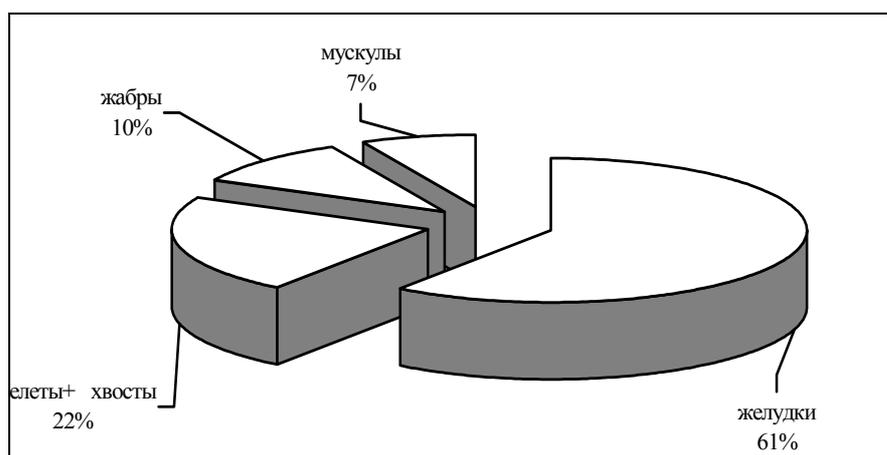


Рис. 3 Вклад отдельных органов черноморского шпрота в аккумуляцию ^{210}Po

Fig. 3 Contribution of the Black Sea sprat different organs in the accumulation of ^{210}Po

Трофический путь поступления природного радионуклида ^{210}Po в черноморского шпрота можно проследить также с помощью нематоды *H. aduncum*, личинки которой могут попасть в этого хозяина только вместе со своим первым промежуточным хозяином – copepodами, основную составляющую пищевого рациона шпрота [6].

Для оценки вклада нематоды *H. aduncum* в аккумуляцию полония черноморским шпротом нами были исследованы рыбы разной стандартной длины (рис. 5). Все

рыбы оказались заражены данным паразитом при средней интенсивности инвазии 31 экз./особь. Поскольку, как уже отмечено, в каждой пробе для сбора нематод вскрывалось в среднем по 150 экз. шпрота, то общее количество нематод на одно определение в такой суммарной пробе составляло около 4500 экз.

Мы установили, что в период отлова шпрота (июнь – июль 2003 г.) концентрация ^{210}Po в целых тушках рыб была выше у особей меньшей стандартной длины (рис. 5).

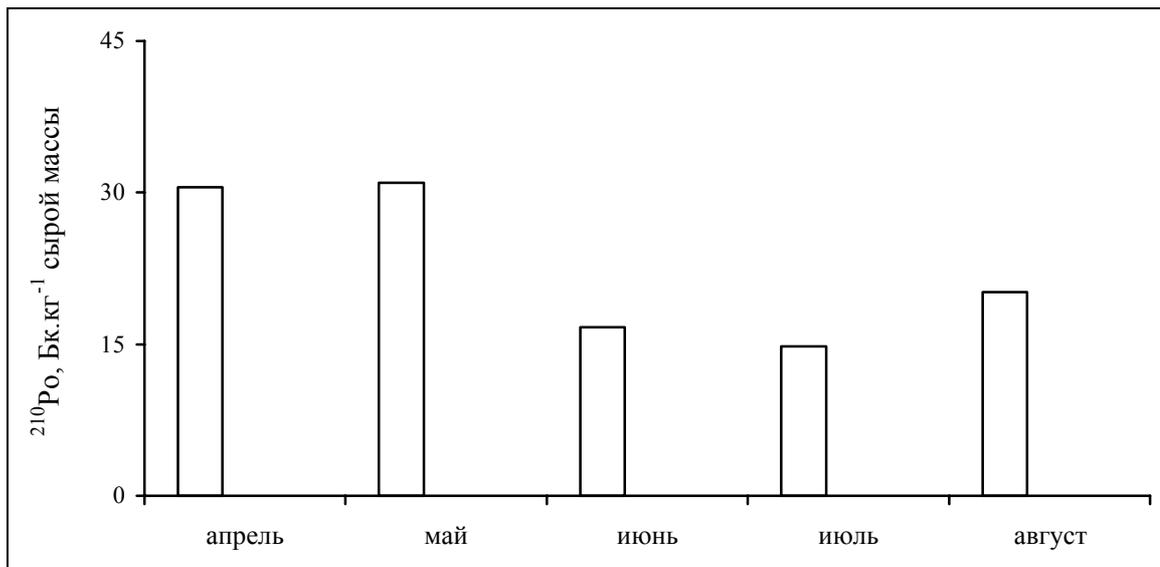


Рис. 4 Концентрации ^{210}Po в целых тушках черноморского шпрота, 1999 г.

Fig. 4 ^{210}Po concentrations in entire bodies of the Black Sea sprat, 1999

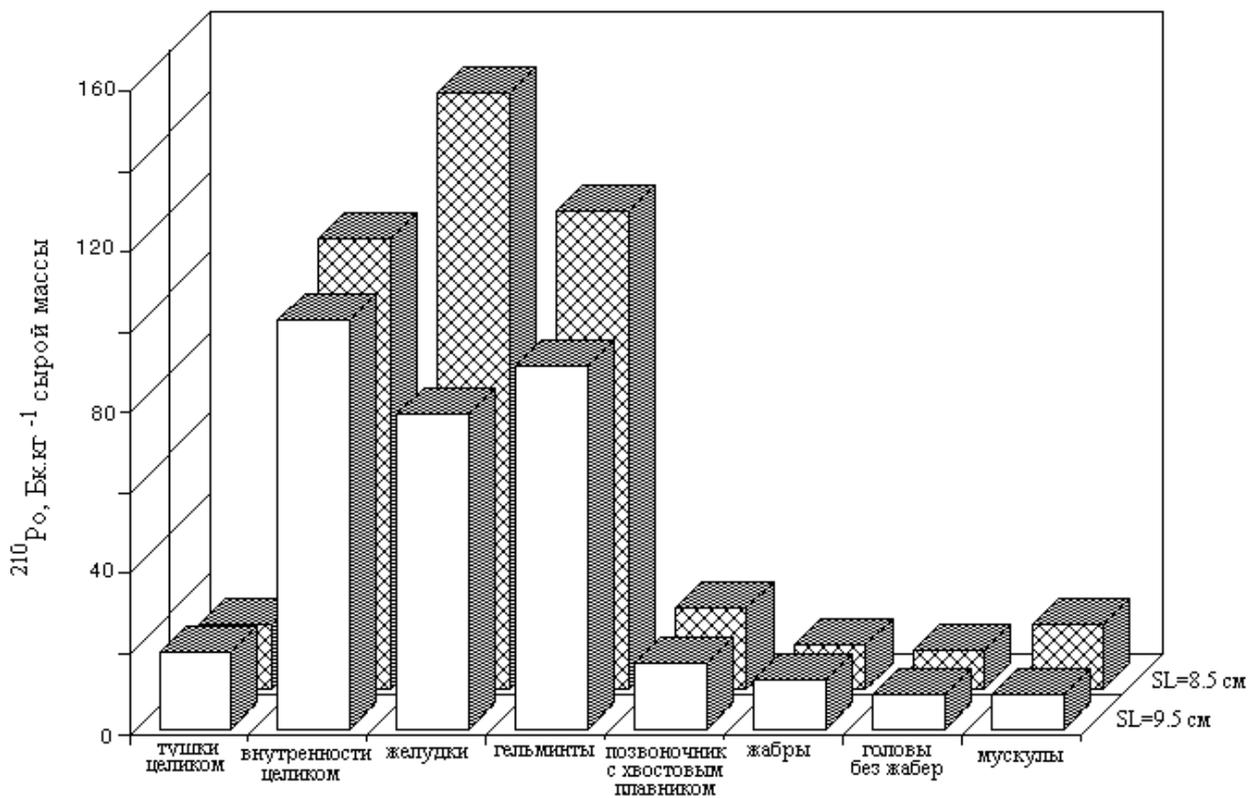


Рис. 5 Вклад отдельных органов шпрота разной стандартной длины и нематод *Hysterothylacium aduncum* в аккумуляцию ^{210}Po

Fig. 5 The contribution of some organs of different standard length of the sprat and nematode *Hysterothylacium aduncum* in ^{210}Po accumulation

Как видно из приведённых на рис. 5 данных, содержание ^{210}Po в личинках нематод *H. aduncum* находилось на уровне и даже превышало таковой в желудках шпрота, взятых целиком.

В связи с этим можно предположить, что нематоды накапливают значительные количества полония ещё во время своего пребывания в организме первых промежуточных хозяев – копепод, которые в числе других представителей зоопланктона служат основным кормом для черноморского шпрота. Однако

возможно и другое предположение. Личинки нематоды *H. aduncum*, локализующиеся в полости тела шпрота, активно накапливают в своём организме ^{210}Po в процессе его поступления в организм хозяина вместе с пищей.

И в том, и в другом случае очевидно одно: для черноморского шпрота роль нематоды *H. aduncum* в аккумуляции ^{210}Po существенна и отражает пищевой путь его поступления в организм этих рыб вместе с зоопланктоном.

1. Гаевская А. В., Ткачук Л. П., Романова З. А. Паразиты гребневиков – вселенцев в Чёрном море // Экология моря. – 2002. – Вып. 61. – С. 18 – 20.
2. Зуев Г. В., Гаевская А. В., Корнийчук Ю. М., Болтачев А. Р. О внутривидовой дифференциации черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*) у побережья Крыма (предварительное сообщение) // Экология моря. – 1999. – Вып. 49. – С.10 – 16.
3. Лазоренко Г. Е. ^{210}Po в гидробионтах Чёрного моря / Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского. – 2000. – Севастополь: ННЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – С.108 – 125.
4. Лазоренко Г. Е., Гаевская А. В., Корнийчук Ю. М. Распределение природного альфа-излучающего радионуклида ^{210}Po в черноморском шпроте *Sprattus sprattus phalericus* // Экология моря. – 2000. – Вып. 53. – С. 41 – 43.
5. Лазоренко Г. Е., Поликарпов Г. Г., Болтачев А. Р. Естественный радиоэлемент полоний в основных экологических группах черноморских рыб // Биология моря. – 2002. – 28, № 1. – С. 61 – 65.
6. Солонченко А.И., Ковалева Т. М. Личинки нематод *Hysterothylacium aduncum* в рачках *Pseudocalanus elongatus* // Экология моря. – 1985. – Вып. 20. – С. 65 – 66.
7. Aarkrog A. et al. A comparison of Doses from ^{137}Cs and ^{210}Po in Marine Food: A Major International Study // J. Environ. Radioactivity. – 1997. – 34, № 1. – P. 69 – 90.
8. Al-Masri M. S., Mamish S., Budeir Y. The impact of phosphate loading activities on near marine environment: the Syrian coast // J. Environ. Radioactivity. – 2002. – 58. – P. 35 – 44.
9. Chen Q., Dalgaard H., Nielsen S.P. et al. Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb in Mussel, Fish, Sediment, Petroleum // Department of Nuclear Safety Research and Facilities, RISOE National Laboratory, Denmark. – November 1998. – 1998. – 10 p.
10. Cherry R.D., Shannon L.V. The alpha radioactivity of marine organisms // Atomic Energy Rev. – 1974. – 12. – P. 3 – 45.
11. Haridasan P.P., Paul A.C., Desai M.V.M. Natural radionuclides in the aquatic environment of a phosphogypsum disposal area // J. Environ. Radioactivity. – 2001. – 53. – P. 155 – 165.
12. Heyraud M., Cherry R. D. Polonium-210 and lead-210 in marine food chains // Marine Biology. – 1979. – 52. – P. 227 – 236.
13. Hofmann J., Leicht R., Wingender H. J., Wörner J. Natural radionuclide concentrations in materials processed in the chemical industry and the related radiological impact /European Commission “Nuclear Safety and the Environment”, Directorate-General Environment: Report EUR 19264. – 2000. – 115 p.
14. Lazorenko G. E., Polikarpov G. G. ^{210}Po in marine biota / Working Material of IAEA TCP RER/2/003 “Marine Environment Assessment of the Black Sea”: Reproduced by the IAEA, Vienna, Austria, 2004. – 2004. – P. 168 – 173.
15. McDonald P., Baxter M. S., Scott E. M. Technological enhancement of natural radionuclides in the marine environment // J. Environ. Radioactivity. – 1996. – 32. – № 1-2. – P. 67 – 90.
16. Wildgast M. A., McDonald P., White K.N., Bowsler C.G. Polonium-210, a protein sulphur analogue // Marine Biology. – 1999. – 133. – P. 683 – 689.

Полоний-210 – перспективный природный радиотрассер трофических та паразитологических зв'язків чорноморського шпрота. Г. С. Лазоренко, Г. Г. Полікарпов, А. В. Гасвська, Ю. М. Корнійчук. Представлені концентрації ^{210}Po у чорноморському шпроті, його органах та личинках нематоди *Hysterothylacium aduncum*. Показано, що цей радіонуклід може служити природним індикатором трофических та паразитологических зв'язків шпроту.

Ключові слова: полоний-210, чорноморський шпрот, органи, нематода, Чорне море

^{210}Po concentrations, as a perspective natural radiotracer of trophic and parasitological connections of the Black Sea sprat. G. E. Lazorenko, G. G. Polikarpov, A. V. Gaevskaya, Ju. M. Kornijchuk. ^{210}Po concentrations in the Black Sea sprat, its organs and larvae of nematode *Hysterothylacium aduncum* were determined. It was shown that this radionuclide can be used as a natural indicator of trophic and parasitological connections of the sprat.

Key of words: ^{210}Po , sprat, organs, nematodes, Black Sea

ЗАМЕТКА

О жизненном цикле черноморского скребня *Acanthocephaloides propinquus* [Дані до життєвого циклу чорноморського *Acanthocephaloides propinquus*; Data on the life cycle of the Black Sea acanthocephalan *Acanthocephaloides propinquus*]. *Acanthocephaloides propinquus* (Dujardin, 1945) Meyer, 1933 – паразит костистых и хрящевых рыб, широко распространённый в Понто-Азове, Средиземном и Адриатическом морях, а также в Атлантике у берегов Европы и Северной Африки. В Атлантике вид обнаружен у 13 видов рыб из 11 семейств, в Средиземном море – у 46 из 22, в Чёрном море – у 38 из 19 (14 из них, т. е. почти 75 %, относятся к сем. Gobiidae), в Азовском – у 13 из 8 соответственно. Несмотря на то, что круг окончательных хозяев данного паразита достаточно хорошо изучен, сведения о его промежуточных хозяевах отсутствуют, хотя и предпринимались попытки установить их на основании информации об особенностях питания рыб. Так, предполагалось, что у берегов Марокко промежуточными хозяевами *A. propinquus* могут служить амфиподы *Pariambus typicus* и *Phtisica marina* (Belghyti et al., 1994), преобладающие в пище окончательных хозяев *Citharus linguatula* (Scophthalmidae) и *Dicologlossa cuneata* (Soleidae), а у побережья Испании в этой роли может выступать *Caprella equilibria* (Alvares et al., 2002). Однако акантеллы в этих бокоплавах обнаружены не были. У побережья Франции в качестве промежуточного хозяина *A. propinquus* указана амфипода *Caprella acutifrons* (De Vuon, Chauvet, 2003), но подобное утверждение явилось результатом экспериментального заражения капрелл. Таким образом, до настоящего времени промежуточный хозяин *A. propinquus* в природных условиях не был известен. При ревизии коллекционных материалов отдела экологической паразитологии ИнБЮМ НАН Украины был обнаружен препарат акантеллы *A. propinquus* от *Idotea baltica basteri* (Aud.), выловленной в 1987 г. в оз. Донузлав. Паразит был найден у идотеи длиной 12 мм (всего вскрыто 264 особи). Акантелла (самец) располагалась в полости тела рачка. Тело скребня цилиндрическое, согнутое в дорсо-вентральном направлении, длиной 2.5 мм. Максимальная ширина тела составляет 0.45 мм. Кутикулярное вооружение не просматривается. Хоботок булавовидный, втянут в хоботковое влагалище и в полость тела, но не ввёрнут, что позволило рассмотреть его вооружение. Длина хоботка составляет 0.2, ширина 0.14 мм. Длина шейки 0.06 мм, минимальная ширина 0.11, максимальная 0.16 мм. На хоботке просматриваются 12 рядов крючьев по 5 в каждом ряду, все ряды имеют по 3 крупных крючка и по 2 мелких базальных. Общее количество крючьев хоботка составляет 60, из которых 24 мелких базальных и 36 крупных. Длина самого крупного среднего крючка составляла 0.053 – 0.056 мм, второго (по направлению к апикальному концу хоботка) — 0.035 – 0.042 мм, третьего (апикального) – 0.03 – 0.04 мм. Длина острия базальных крючьев была примерно одинаковой в обоих рядах – 0.017 – 0.021 мм. Длина хоботкового влагалища 0.4 мм. Семенники размерами 0.25×0.25 мм, общей площадью 0.02 мм². Бурса размерами 0.15×0.13 мм (общей площадью 0.02 мм²). Таким образом, в условиях экосистемы Понто-Азова жизненный цикл скребня *A. propinquus* осуществляется через изоподу *Idotea baltica basteri* (Aud.), а в качестве окончательных хозяев известны, преимущественно, рыбы сем. Gobiidae. **И. П. Белофастова**, м.н.с., **Т. Н. Мордвинова**, канд. биол. наук, с.н.с. (Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь, Украина).