

## Оценка эффективности переноса техногенных радионуклидов в трофических сетях р. Енисей

Е.А. Трофимова, Т.А. Зотина, А.Я. Болсуновский  
Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Река Енисей загрязнена техногенными радионуклидами в результате работы Горно-химического комбината (ГХК) Росатома. Техногенные радионуклиды зарегистрированы во всех компонентах экосистемы, включая биоту (Bolsunovsky, Bondareva, 2007; Bolsunovsky, 2010; Зотина и др., 2010; 2012; Zotina et al., 2011). Между компонентами трофических сетей происходит постоянный перенос вещества а, следовательно, возможна миграция радионуклидов от одного трофического уровня к другому. В данной работе оценивались коэффициенты переноса радионуклидов между звеньями трофических цепей на основе удельных активностей радионуклидов в биомассе биоты, обитающей в зоне радиационного загрязнения реки р. Енисей.

Представителей трофических сетей р. Енисей отбирали на участке, расположенном на расстоянии 5-10 км от ГХК, в 2009 и 2010 гг. Из ихтиофауны Енисея для исследования использовали хищных рыб: щуку (*Esox lucius* L.) и налима (*Lota lota* L.), и рыб-бентофагов: ельца (*Leuciscus leuciscus baicalensis* Dyb.) и хариуса (*Thymallus arcticus* P.). Для одной пробы было использовано по 6-11 экз. ельцов и хариусов. Полная длина одной особи хариуса составляла 124 – 295 мм, ельца – 160 – 122 мм, щуки – 509 мм, налима – 350 мм. Сырая масса хариуса составляла 42 – 348 г, ельца - 46- 93 г, щуки – 1054 г, налима – 620 г. Возраст хариусов составлял 2+, ельцов – 3+, щуки и налима - 4+ г. Из представителей зообентоса использовали бокоплавов (*Philolimnogammarus viridis* Dyb. и *Ph.cyaneus* Dyb.). Из представителей макрофитов использовали водный мох (*Fontinalis antipyretica* Hedw). Водный мох является средой обитания бокоплава, который может питаться эпифитными микроорганизмами, населяющими мох, а так же самим мхом (Kalacheva et al., 2011).

Рыб разделяли на органы и ткани (головы, жабры, кожу с чешуей, плавники со скелетом конечностей, мышцы, осевой скелет и мышечные кости, внутренние органы). Пробы готовили как описано нами ранее (Зотина и др., 2010, 2011). Активность радионуклидов в пробах измеряли на гамма-спектрометре со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США). Значения активности корректировали на дату отбора проб. Коэффициенты перехода (КП) радионуклидов из пищевых объектов в мышцы и тела рыб рассчитывали как отношение удельной активности радионуклида в сырой массе консумента (бокоплава или рыбы) к активности в сырой массе кормового объекта.

Во всех пробах биоты зарегистрирован природный радионуклид  $^{40}\text{K}$ , который имел наибольшую удельную активность, по сравнению с техногенными гамма-излучающими радионуклидами. В биомассе водного мха перечень техногенных радионуклидов был самым большим. В частности отмечены относительно короткоживущие изотопы техногенного происхождения  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{239}\text{Np}$ , а также относительно долгоживущие изотопы  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{152}\text{Eu}$  (Zotina et al., 2010). В пробах бокоплавов регистрировались радиоактивные изотопы кобальта, цинка и цезия. Наиболее значительная удельная активность принадлежала цинку. В телах исследованных видов рыб зарегистрированы такие техногенные радионуклиды как  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Изотопы  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{137}\text{Cs}$  зарегистрированы не только в покровных тканях, но и в костях и мышцах рыб, что может свидетельствовать о трофическом пути поступления этих техногенных радионуклидов в организм рыб.

Измеренные нами удельные активности в пробах биоты были использованы для расчета КП радионуклидов между компонентами трех трофических уровней. Согласно принятой в гидробиологии терминологии, в случае, когда величина КП превышает

единицу, можно говорить о накоплении радионуклида консументом, если величина КП меньше единицы, накопления радионуклида не происходит.

Наше исследование показало, что эффективность переноса радионуклидов между компонентами разных уровней трофической сети р. Енисей значительно отличается. Эффективный трофический перенос из водного мха в зообентос (тела бокоплава) возможен для  $^{65}\text{Zn}$  (КП=2.6-10.8), в то время как величины КП  $^{40}\text{K}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  не превысили единицы (Рис. 1). Величины КП природных изотопов висмута и свинца превышали единицу в 1.3-2.3 раза и в 1.2-1.3 раза соответственно, что также свидетельствует о возможности накопления этих радионуклидов бокоплавами из биомассы мха.

Эффективность перехода радионуклидов из биомассы бокоплавов в тела и мышцы рыб-бентофагов была рассчитана для проб, отобранных в осенний период, когда бокоплав доминирует в спектре питания хариуса (Зуев и др., 2011). Между этими трофическими уровнями возможен эффективный перенос только природного изотопа  $^{40}\text{K}$  (КП=1.6-3) (Рис. 2), что согласуется с данными, полученными для стабильного калия (Анищенко и др., 2009). Изотопы цинка и цезия в этой трофической паре не накапливаются. Величины КП техногенных радионуклидов из биомассы бокоплава в тела и мышцы хариусов и ельцов были меньше единицы, находясь в диапазоне 0.2 – 0.6 для  $^{65}\text{Zn}$  и 0.2 – 0.4 для  $^{137}\text{Cs}$ . Следовательно, между трофическими уровнями зообентос – рыбы-бентофаги не происходит эффективного переноса техногенных радиоизотопов цинка и цезия.

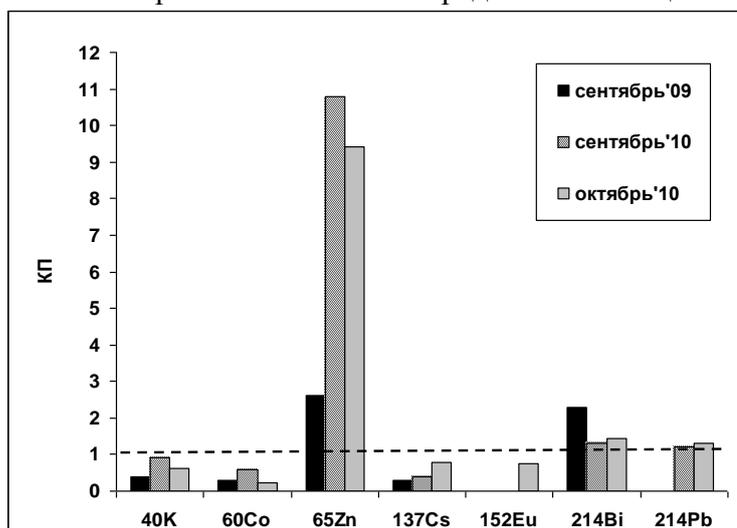


Рис. 1. Коэффициенты перехода радионуклидов в биомассу бокоплавов из водного мха, рассчитанные для проб, отобранных в сентябре и октябре 2009 и 2010 гг.

Для оценки эффективности переноса радионуклидов к рыбам-ихтиофагам были рассчитаны КП в трофических парах тело хариуса или ельца – мышцы щуки или налима (рис. 3). Выявились значительные видовые отличия в накоплении радионуклидов рыбами-ихтиофагами из рыб-бентофагов. Величины КП  $^{40}\text{K}$  в этих трофических парах варьировали от 0.8 до 1.3. Величина КП  $^{60}\text{Co}$  из тел ельца в мышцы налима составила 1.6, следовательно, этот радионуклид может накапливаться в мышцах налима из тел ельца. Величины КП  $^{137}\text{Cs}$  из рыб-бентофагов в мышцы налима были близки к единице (0.8 и 1.1), а в мышцы щуки составили 2.1 и 2.9 (рис. 3). На основе полученных результатов можно говорить о возможном накоплении  $^{137}\text{Cs}$  из биомассы рыб-бентофагов (ельца и хариуса) рыбами-ихтиофагами (налимом и щукой) р. Енисей, что согласуется с данными других авторов (Рябов, 2004; Зарубин и др., 2009), полученными для водоемов зоны отчуждения ЧАЭС.

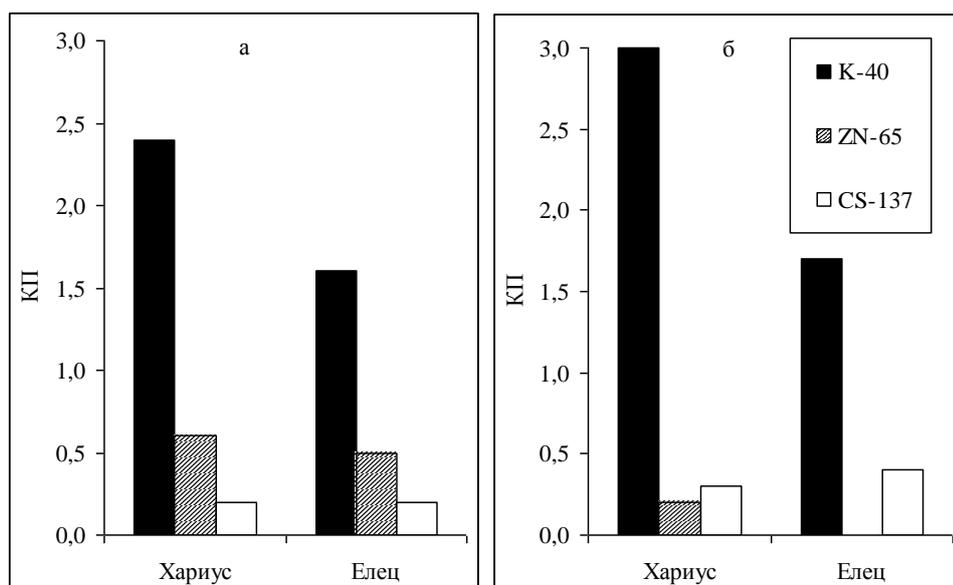


Рис.2. Коэффициенты переноса радионуклидов из зообентоса в тела (а) и мышцы (б) ельца и хариуса.

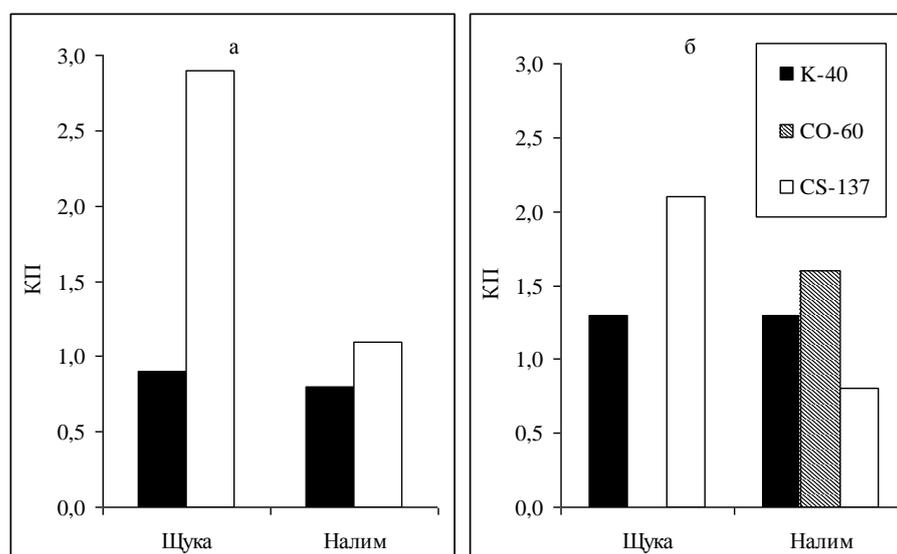


Рис.3. Коэффициенты переноса радионуклидов из тел рыб–бентофагов хариуса (а) и ельца (б) в мышцы рыб–ихтиофагов налима и щуки.

Таким образом, наши оценки показали, что техногенные радиоизотопы цезия и кобальта, могут накапливаться в мышцах хищных рыб р. Енисей щуки и налима из пищи. Как известно, цезий-137 и кобальт-60 регистрируются в верхних слоях донных отложений р. Енисей (Bolsunovsky, 2010). Можно предположить, что донные отложения могут оставаться источником этих радионуклидов для рыб р. Енисей и после прекращения работы реакторного производства на ГХК.

#### Список литературы:

Анищенко О.В., Гладышев М.И., Кравчук Е.С., Сущик Н.Н., Грибовская И.В. Распределение и миграция металлов в трофических цепях экосистемы реки Енисей в районе г. Красноярск. Водные ресурсы. 2009. 36 (5): 623 – 632.

Зарубин О.Л., Малюк И.А., Костюк В.А. Особенности содержания  $^{137}\text{Cs}$  у различных видов рыб Каневского водохранилища на современном этапе. Гидробиол. журнал. 2009. 45 (5): 110 – 116.

Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Каглян А.Е., Болсуновский А.Я, Гудков Д.И. Распределение техногенных радионуклидов из р. Енисей (Россия) и водоёмов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (Украина). Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2010. 1 (12): 91 – 94.

Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Болсуновский А.Я. Радионуклиды в хариусе сибирском на радиационно-загрязненном участке среднего течения р. Енисей. Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. (принята к печати)

Зуев И.В., Семенова Е.М., Шулелина С.П., Резник К.А., Трофимова Е.А., Шадрин Е.Н., Зотина Т.А. Питание хариуса *Tymallus sp.* в среднем течении р. Енисей. J. Sib. Fed. Uni. Biol. 2011. 4 (3): 281 - 292.

Рябов И.Н. Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на чернобыльской АЭС. М: товарищество научных изданий КМК, 2004, 215 с.

Bolsunovsky A. Artificial radionuclides in sediment of the Yenisei River. Chemistry and Ecology. 2010. 26 (10): 401-409.

Bolsunovsky A., Bondareva L. Actinides and other radionuclides in sediments and submerged plants of the Yenisei River. J. Alloy. Compd. 2007. 444 – 445: 495 – 499.

Kalacheva G.S., Gladyshev M.I., Suschik N.N., Makhutova O.N. Water moss as a food item of the zoobenthos in the Yenisei River. Cent. Eur. J. Biol. 2011. 6 (2): 236 – 245.

Zotina T.A., Trofimova E.A., Bolsunovsky A.Ya. 2011. Artificial radionuclides in fish fauna of the Yenisei River in the vicinity of the Mining-and-Chemical Combine (Siberia, Russia). Radioprotection 46(6): S75-S78.