

**ОЦЕНКА РОЛИ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ В МИГРАЦИИ ТРАНСУРАНОВЫХ РАДИОНУКЛЕОТИДОВ В ЭКОСИСТЕМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ: НАБЛЮДЕНИЯ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ.  
ПРОЕКТ № 96**

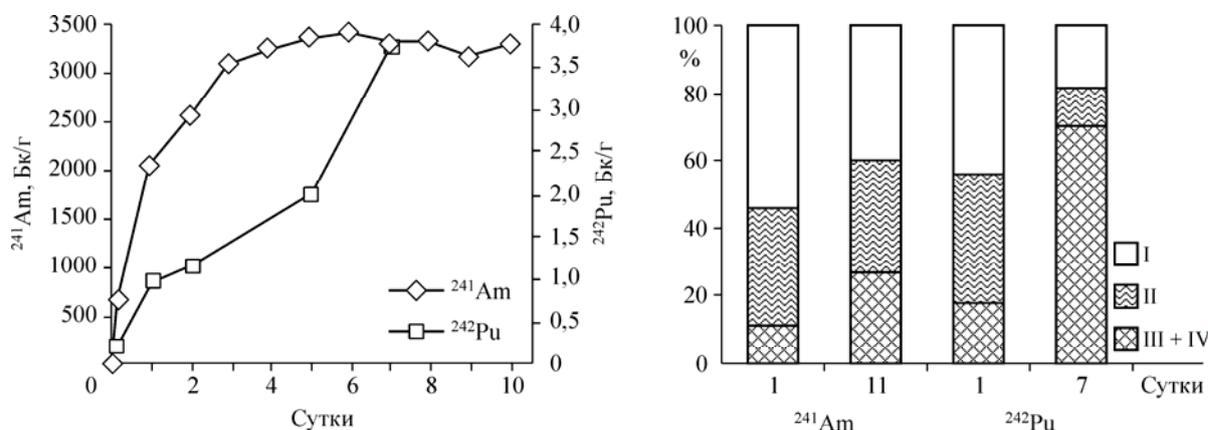
**Координатор:** член-корр. РАН Дегерменджи А. Г.  
**Исполнители:** ИБФ, ИГ ОИГГМ, ИЛ, ИЦиГ, ИХХТ СО РАН

**1. Накопление трансуранических радионуклидов растениями**

**Ежегодный мониторинг.** В водных растениях обнаружен широкий спектр техногенных радионуклидов (включая изотопы плутония, америций и нептуний) на расстоянии до 250 км от ГХК Росатома (г. Железногорск) по течению реки. По степени накопления в растениях ранжируются: водный мох *Fontinalis antipyretica* > рдест *Potamogeton lucens* > элодея *Elodea canadensis*. Величина трансуранического элемента  $^{239}\text{Np}$ , прочно связанного с биомассой рдеста, в разные сезоны варьирует от 30 до 64 % общего содержания  $^{239}\text{Np}$ .

**Лабораторные опыты.** Опыты с элодеей (*Elodea canadensis*) показали различную биоаккумуляционную способность в отношении трансуранических элементов ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ) и изотопов урана ( $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ ). Максимальное значение коэффициента накопления (КН) элодеи:

КН для  $^{241}\text{Am}$  (16600) > КН для  $^{242}\text{Pu}$  (4000) > КН для  $^{238}\text{U}$  (2780). Для водного растения рдест (отобранного вблизи сбросов ГХК в Енисей) КН для  $^{239}\text{Np}$  равен 2000. Исследования биомассы методами физико-химического фракционирования показали, что доля активности  $^{241}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Pu}$ , накопленная элодеей в экспериментах и прочно связанная с биомассой (фракции III + IV, см. рисунок), может варьировать от 21 % для  $^{241}\text{Am}$  до 63 % для  $^{242}\text{Pu}$  от их сумм в биомассе, коррелирующая с натурными данными по  $^{239}\text{Np}$  (оставшаяся часть  $^{241}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Pu}$  находится в обменной и адсорбционной фракциях). При отмирании и разложении биомассы растений  $^{241}\text{Am}$  длительное время выходит в водную среду преимущественно вместе с частями биомассы.



Накопление  $^{241}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Pu}$  в биомассе (слева) и распределение  $^{241}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Pu}$  по химическим фракциям (справа) биомассы *Elodea canadensis*. Фракции: I — обменная, II — адсорбционная, III + IV — органическая + минеральный остаток.

$^{241}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Pu}$  accumulation in *Elodea canadensis* biomass (left) and their distribution in biomass chemical fractions (right).

## 2. Миграция техногенных радионуклидов в донных отложениях

Радиохимическими исследованиями установлена последовательность в миграционной способности техногенных радионуклидов в донных отложениях по доле миграционных форм:  $^{241}\text{Am} > ^{152}\text{Eu} > ^{60}\text{Co} > ^{239+240}\text{Pu} > ^{137}\text{Cs}$ .

Для определенных условий выявлена аналогия в поведении трансуранового элемента  $^{241}\text{Am}$  и  $^{152}\text{Eu}$ . Миграционная способность внесенного  $^{242}\text{Pu}$  в системе донные отложения—вода р. Енисей выражена в виде последовательности  $^{242}\text{Pu} > ^{239+240}\text{Pu}$ .

## 3. Оценка доз, токсичности и цитогенетических нарушений

Максимальная мощность дозы среди гидробионтов р. Енисей характерна для водных растений (до 72 мкГр/сут.). В формировании внутреннего облучения водных растений вклад трансуранового элемента  $^{239}\text{Np}$  может достигать 13 %. Величина мощности дозы техногенного облучения на порядок выше мощности дозы естественного облучения.

Показано значительное ингибирующее действие проб воды, содержащих  $^{241}\text{Am}$ , на рост клеток *E. coli* PQ37. В присутствии  $^{241}\text{Am}$  количество жизнеспособных клеток снижалось в 10—1000 раз в зависимости от активности америция. Показана генотоксичность проб воды с америцием в SOS-хромотесте: величина фактора индукции (FI) в опытах с образцами, содержащими  $^{241}\text{Am}$ , зависела от активности америция в растворе и достоверно превышала

значение FI в контроле. Минимальная активность  $^{241}\text{Am}$ , индуцирующая SOS-ответ, составляет 6—10 Бк на пробу. В тесте Эймса выявлена мутагенная активность проб воды и донных отложений, содержащих  $^{241}\text{Am}$ .

Цитогенетические исследования клеток растений элодеи канадской (*Elodea canadensis*) и водяного лютика (*Batrachium kauffmannii*), собранных в местах радиоактивного загрязнения Енисея, позволили определить частоту и спектр хромосомных мутаций. Исследования показали, что в контрольных районах вне зоны радиоактивного загрязнения доля хромосомных нарушений не превышает 10 %, в опытных образцах из районов радиоактивного загрязнения, в том числе трансурановыми элементами, суммарная частота хромосомных мутаций в аналофазах и метафазах может достигать 47 %.

### Основные публикации

1. *Bolsunovsky A.* Artificial radionuclides in aquatic plants of the Yenisei River in the area affected by effluents of a Russian plutonium complex// *Aquatic Ecology*. 2004. V. 38 (1). P. 57—62.
2. *Bolsunovsky A., Zotina T., Bondareva L.* Accumulation and release of  $^{241}\text{Am}$  by a macrophyte of the Yenisei River (*Elodea canadensis*)// *J. Environmental Radioactivity*. 2005. V. 81. P. 33—46.
3. *Болсуновский А. Я., Суковатый А. Г.* Радиоактивное загрязнение водных организмов реки Енисей в зоне влияния горно-химического комбината// *Радиобиология. Радиоэкология*. 2004. Т. 44, № 3. С. 393—398.
4. *Бондарева Л. Г., Болсуновский А. Я., Сухорук Ф. В., Казбанов В. И., Макарова И. В., Леглер Е. В.* Оценка миграционной способности трансурановых радионуклидов ( $^{241}\text{Am}$ , изотопов Pu) и  $^{152}\text{Eu}$  в донных отложениях реки Енисей методом химического фракционирования: модельные эксперименты// *Радиохимия*. 2005. Т. 47, № 4. С. 379—384.