

### Литература

1. Васильев И.Д. Геологические структуры в околотрубном пространстве трубки Архангельская и их использование для поисков коренных месторождений алмазов в Зимнебережном районе : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М. : МГРИ-РГГРУ, 2010.

2. Стогний В.В., Коротков Ю.В. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. – Новосибирск : Малотиражная типография 2D, 2010. – 121 с.

## U И TH В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

А.Р. Ялалтдинова<sup>1</sup>, Л.П. Рихванов<sup>1</sup>, Н.В. Барановская<sup>1</sup>, Дж. Ким<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия, yalaltdinova.aly@mail.ru, rikhvanov@tpu.ru, nata@tpu.ru

<sup>2</sup>Технологический университет Труа, Труа, Франция, junbeum.kim@utt.fr

## U AND TH IN NATURAL ENVIRONMENTS OF UST-KAMENOGORSK (KAZAKHSTAN)

A.R. Yalaltdinova<sup>1</sup>, L.P. Rikhvanov<sup>1</sup>, N.V. Baranovskaya<sup>1</sup>, J. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>University of Technology Troyes, Troyes, France

В статье рассматривается содержание U и Th в почвенном покрове, пылеаэрозолях и листьях тополя черного (*Populus nigra* L.) на территории высоко урбанизированного города Казахстана – Усть-Каменогорска. Самое высокое содержание урана наблюдается в твердой фазе снегового покрова, концентрация варьирует от 1,7 до 19,7 мг/кг. Наибольшее содержание тория отмечается в почвенном покрове: от 3,0 до 21,5 мг/кг, при средней величине 7,5 мг/кг. Наименьшее значение как урана, так и тория было получено для золы листьев тополя. В пространственном отношении стоит также отметить, что концентрация урана в листьях и почве уменьшается по мере удаления от промышленной зоны, на территории которой расположен Ульбинский металлургический завод, во всех направлениях. В изменении содержания тория строгой тенденции не прослеживается, но минимальные значения Th/U отношения отмечаются также вблизи промышленной зоны. По мере приближения к источнику поступления изменяется также форма нахождения урана в листьях тополя: происходит переход от рассеянной формы к форме собственных микроминералов, что было установлено по результатам проведения f-радиографического исследования сухих листьев тополя.

The article deals with the U and Th content in the soil cover, dust aerosols and black poplar leaves (*Populus nigra* L.) in the territory of highly urbanized city of Kazakhstan, which is called Ust-Kamenogorsk. The highest uranium content is observed in the solid phase of the snow cover, the concentration varies from 1.7 to 19.7 mg/kg. The highest content of thorium is noted in the soil cover: from 3.0 to 21.5 mg / kg, with an average value of 7.5 mg / kg. The lowest values of both uranium and thorium are obtained for ash poplar leaves. It is worth noting that in the spatial respect the uranium content in the poplar leaves and in the soil decreases with increasing distance from the industrial zone, where the Ulba Metallurgical Plant is located, in both directions. Strict tendency in thorium content changes is not observed, but the minimum of Th/U ratios is also located close to the industrial zone. With decreasing distance from the source a form of uranium in the poplar leaves changes from scattered one to the form of microminerals, which was established based on the results of the f-radiography of dried poplar leaves.

### Введение

Город Усть-Каменогорск характеризуется наличием большого числа источников техногенных загрязнений, среди которых можно выделить промышленные предприятия, транспорт, сельхозпредприятия, автозаправки, предприятия пищевой отрасли, частный жилой сектор, свалки твердых бытовых отходов. Основное воздействие на окружающую среду оказывают транспорт и промышленные предприятия, среди последних одним из основных загрязнителей выступает АО УМЗ (Ульбинский металлургический завод) [4]. С 1997 г. УМЗ входит в состав Национальной атомной компании “Казатомпром” – национального оператора по импорту-экспорту ураносодержащих и других материалов двойного назначения. Производство завода, помимо бериллиевой и танталовой продукции, включает производство топлива для атомных электростанций (изготовление топливных таблеток из слабообогащенной по изотопу урана 235 двуокиси урана) [12].

При наличии такого рода предприятий на территории города необходимо следить за содержанием радиоактивных элементов в различных природных средах, отражающих как долговременное загрязнение, так и сезонное [5]. К первому типу относится накопление загрязняющих веществ в почве. Зимний период может быть охарактеризован через изучение элементного состава твердой фазы снежного покрова, летний, в свою очередь, – накоплением элементов в листьях древесных растений, например, тополя черного (*Populus nigra* L.), эффективность использования которого в качестве биоиндикатора была доказана не однократно, в том числе авторами [9, 15].

Таким образом, целью данной работы было изучение особенностей распределения урана и тория в почвенном покрове, пылеаэрозолях и листьях тополя черного на территории высоко урбанизированного города Казахстана – Усть-Каменогорска.

## Материал и методы

Все компоненты природной среды были отобраны в 2011 г. Отбор листьев тополя черного (*Populus nigra L.*) и почв был произведен по равномерной сети по всему городу, с детализацией в районах расположения действующих в настоящее время промышленных предприятий. Всего было отобрано 103 пробы почвы и 101 проба листьев, при этом 100 пробных площадок удалось совместить.

Листья тополя в первичной сырой массе порядка 50–100 г (20–30 листьев без черенков с одного дерева) отбирались на территории г. Усть-Каменогорска по стандартной методике [11, 13] из нижней части кроны, на высоте 1,5–1,8 м с максимально возможного количества ветвей, растущих в разных направлениях. Сразу после отбора листья промывались небольшим количеством дистиллированной воды и высушивались при комнатной температуре. Обобщенно подготовку можно предствить в виде последовательного измельчения, взвешивания перед озолоением, озолоения в муфельной печи (в фарфоровых тиглях) при температуре 550 °С в течение 2 ч с момента достижения заданной температуры до получения равномерно озолоенного материала белого или светло-серого цвета, а также взвешивания после озолоения.

Отбор почвы на всей территории проводился с поверхностного слоя (0–10 см), предварительно очищенного от дернового горизонта, пробоотборной лопаткой. Работы по отбору и подготовке проб выполнялись с учетом ГОСТ 28168–89 и ГОСТ 17,4,4,02–84. Пробы упаковывались в полиэтиленовые мешочки, завязывались и нумеровались. Подготовка проб к аналитическим исследованиям включала несколько этапов: пробы просушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, удалялись включения (камни, стекло и др.), далее, после ручного измельчения, почва просеивалась через сито с диаметром отверстий 1 мм. Затем, 100–150 г от каждой пробы измельчалось до размера пудры (0,074 мм) на виброистирателе. Отбор и пробоподготовка проводились Петровой Л.В., бывшей магистранткой Томского политехнического университета под руководством Н.А. Осиповой и Л.П. Рихванова [7].

Также был произведен отбор пылеаэрозольной составляющей снегового покрова в зоне воздействия промышленной зоны, в пределах которой расположен Ульбинский металлургический завод, всего было отобрано 6 снеговых проб: по 1 пробе в северном и северо-западном направлениях и по 2 пробы к югу и юго-востоку. Все работы выполнялись с учетом методических рекомендаций [2, 6, 10]. Отбор проб снега был произведен методом шурфа на всю глубину снегового покрова, за исключением пяти сантиметровой слоя, находящегося в соприкосновении с почвой, чтобы исключить возможность литогенного загрязнения проб. Объем пробы был подобран таким образом, чтобы вес твердого осадка после фильтрации составлял не менее 1 г. Пробоподготовка состояла из таяния снега при комнатной температуре, фильтрации, дальнейшего высушивания, просеивания, взвешивания и истирания твердого осадка [14]. Исследовалась фракция размером менее 1 мм.

Для количественного определения содержания урана и тория во всех природных средах применялся метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Облучение осуществляли тепловыми нейтронами с потоком  $2 \cdot 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , продолжительность облучения – 20 ч. Измерения производились на гамма-спектрометре с германий-литиевым детектором.

Дополнительно изучались формы нахождения радиоактивных элементов методом f-радиографии в листьях тополя и методом электронной микроскопии в пылеаэрозолях.

С целью проведения f-радиографии из основания листа вырезался прямоугольник размером 3×1,5 см (что соответствует размеру входного отверстия канала реактора для последующего облучения пробы). Соответствующего размера пластинки слюды плотно прикладывались к подготовленному листу с обеих сторон, закреплялись скотчем по бокам для более плотного прилегания и оборачивались фольгой. Облучение проб было проведено в канале реактора при плотности потока тепловых нейтронов порядка  $10^{18}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . После облучения на реакторе и спадания наведенной радиоактивности выполнялись операции по травлению детектора плавиковой кислотой по следующей методике: слюду опускали в кювету с плавиковой кислотой на 20 мин в закрытом вытяжном шкафу, 30 мин промывали в щелочной воде и высушивали фильтровальной бумагой.

Оба анализа проводились на Томском исследовательском ядерном реакторе ИРТ–Т в аккредитованной лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Томского политехнического университета с применением аттестованных методик (аналитики – с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская).

Метод электронной микроскопии был применен для изучения пылеаэрозольных частиц на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N (разрешение в 10 нм при ускоряющем напряжении 3 кВ) с приставкой для микроанализа в лаборатории электронно-оптической диагностики Международного инновационного образовательного центра “Урановая геология” ТПУ (аналитик С.С. Ильенок).

## Результаты и их обсуждение

Содержание урана и тория в изученных природных средах, а также торий-урановое отношение, рассчитанное для различных сред г. Усть-Каменогорска, представлено в таблице 1.

Самое высокое содержание урана наблюдается в твердой фазе снегового покрова, концентрация варьирует от 1,7 до 19,7 мг/кг, максимальное значение было зафиксировано в 300 м к северу от промышленной зоны, в направлении хвостохранилища УМЗ. Почвы г. Усть-Каменогорска характеризуются содержаниями урана от 1,29 до 18,0 мг/кг, при среднем значении 2,9 мг/кг. Максимум наблюдается к востоку от предприятия, недалеко от проходной УМЗ. Содержание урана в золе листьев тополя черного (наименьшее среди изученных сред на территории г. Усть-Каменогорска) изменяется в широких пределах от 0,008 до 3,2 мг/кг, при среднем значе-

Таблица 1. Содержание урана и тория, торий-урановое отношение в природных средах г. Усть-Каменогорска

	U, мг/кг	Th, мг/кг	Th/U
Пылеаэрозольная составляющая снегового покрова (6 проб)	7,3	5,2	1,1
Почвенный покров (103 пробы)	2,9	7,5	2,9
Зола листьев тополя черного ( <i>Populus nigra L.</i> ) (101 проба)	0,52	0,22	0,9

нии 0,52 мг/кг. Значение 3,2 мг/кг было также зафиксировано к востоку от предприятия.

Содержание тория в пылеаэрозольных выпадениях варьируется от 4 мг/кг до 6,3 мг/кг. Максимально зафиксированное значение было отмечено в 2 км к северо-западу от промзоны УМЗ. В почвенном покрове тория от 3,0 до 21,5 мг/кг, при средней величине 7,5 мг/кг. Наименьшее значение тория, так же, как и для урана, отмечается для золы листьев тополя, оно колеблется в пределах от 0,01 до 1 мг/кг. В пространственном отношении максимальное значение отмечается в точке южнее северной промышленной зоны, ближе всего к трубам ТЭЦ.

Природные и техногенные аномалии находят отражение в изменении отношения тория к урану в различных природных средах. Так для почв вне зон техногенного воздействия характерно Th/U отношение близкое к 3,0–4,5, тогда как в зонах техногенной трансформации почв этот показатель становится существенно ниже [8]. Не смотря на то, что среднее по городу значение незначительно ниже 3, пробы, отобранные вблизи промышленной зоны, характеризуется значением Th/U отношения, близким к 2. Это в свою очередь приводит к изменению отношения элементов в живых организмах и является информативным показателем степени техногенной трансформации природной среды. Живое вещество, как отмечал В.И. Вернадский [3], выступает концентратом урана. Это утверждение было также доказано Н.В. Барановской [1]. На территории города как в сухом веществе, так и в зольном остатке листьев тополя черного Th/U превышает единицу только в 25 пробах из 101, что указывает на повышенные уровни поступления урана в окружающую среду и накопление его живым веществом. При этом минимальные значения (от 0,05 до 0,5) отмечаются возле границы промышленной зоны (рис. 1), схожая картина наблюдается и для почвенного покрова.

В пространственном отношении стоит также отметить, что концентрация урана в листьях и почве уменьшается по мере удаления от промышленной зоны во всех направлениях. Наиболее ярко это прослеживается по направлениям преобладающих ветров (северо-западном и юго-восточном). Ареолы максимального накопления урана пространственно приурочены к ее местоположению на территории. Содержания тория вблизи УМЗ

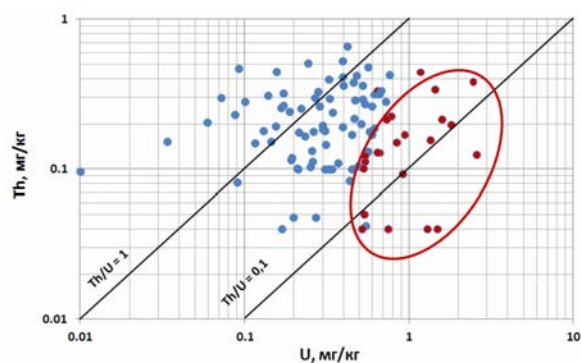


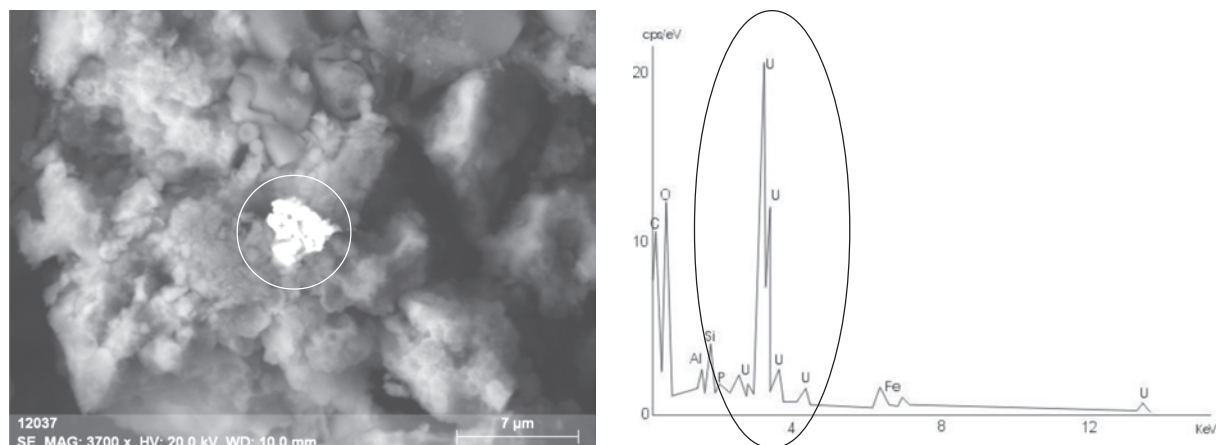
Рис. 1. Th/U в сухом веществе листьев тополя черного (*Populus nigra L.*) на территории г. Усть-Каменогорска (точки, окрашенные в красный и обведенные красным ареолом – пробы, отобранные вблизи промышленной зоны, в пределах которой расположен Ульбинский металлургический завод)

напротив незначительны, и в целом характер его распределения более пятнистый.

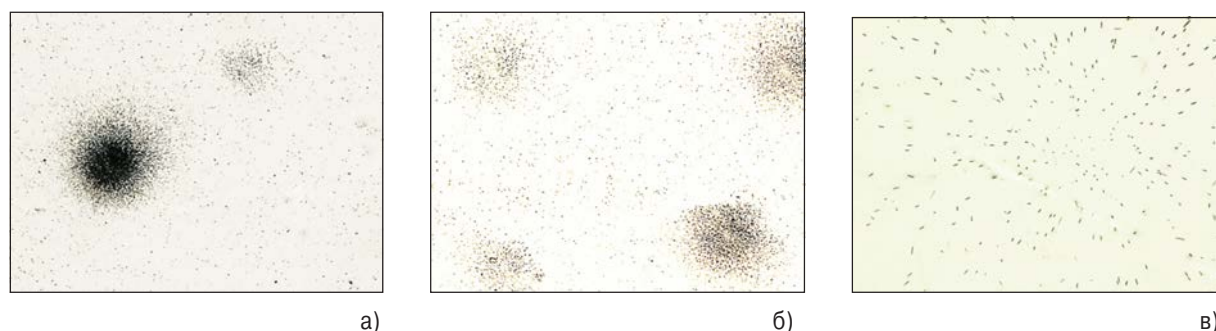
С целью установления вероятности поступления химических элементов в живые организмы из почвы или из атмосферного воздуха, во-первых, был произведен расчет коэффициента биологического накопления, который рассчитывается как отношения содержания элемента в золе листьев тополя к его содержанию в почве места произрастания. Из изученных 100 проб содержание урана в золе листы больше содержания в почве, что в теории может означать его переход из почвы, только в одной точке, расположенной к востоку от промзоны. Во-вторых, было проведено более детальное исследование пылеаэрозольных выпадений. Согласно ранее проведенным исследованиям авторов [16], уран концентрируется в пылеаэрозолях на данной территории, что может указывать на вероятность поступления его на поверхность листа из атмосферного воздуха. Кроме того, с помощью электронного микроскопа были сделан снимок частицы с содержанием оксида урана (рис. 2) в пробе, которая была отобрана между промзоной и хвостом ранилищем УМЗ.

Более того, по результатам f-радиографии было установлено, что по мере приближения к Ульбинскому металлургическому комбинату не только увеличивается концентрация урана в листьях и почве, и уменьшается величина торий уранового отношения, но также увеличивается плотность треков от осколков вынужденного деления радионуклидов на единицу площади и количество микровключений делящихся радионуклидов высокой плотности, так называемых “звезд”.

В листьях тополя черного, произраставшего в непосредственной близости к УМЗ, было зафиксировано обилие звезд и треков от осколков деления. В пробе было зафиксировано 28 скоплений различной степени интенсивности, в остальной части пробы в целом распределение относительно равномерное с высокой плотностью треков (рис. 3).



**Рис. 2.** Частица, в составе которой отмечается наличие оксидов урана (~37% U), выявленная по результатам изучения пылеаэрозолей на электронном микроскопе с приставкой Bruker для элементного анализа



**Рис. 3.** Формы нахождения делящихся радионуклидов (U) в листе тополя, произраставшего вблизи Ульбинского металлургического завода по данным f-радиографии: а, б) – микровключения собственных минералов урана, увел. x50; в) – молекулярная форма неструктурного рассеяния, увел. x200

## Выводы

Таким образом, на территории г. Усть-Каменогорска было проведено изучение содержания и распределения радиоактивных элементов в пылеаэрозольной составляющей снегового покрова, почвенном покрове и листьях тополя черного. Максимальное накопление урана отмечается для пылеаэрозолей, тория – почвенный покров, при этом минимальное торий-урановое отношение, которое может указывать на техногенное воздействие, наблюдается для золы листьев тополя черного.

Пространственно максимальные концентрации урана и наименьшие значения торий-уранового отношения приурочены к зоне влияния Ульбинского металлургического завода. Распределение тория имеет более пятнистый характер распределения.

По результатам анализа возможных путей поступления урана в живые организмы, наиболее вероятным представляется поступление из атмосферного воздуха.

В листьях тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска были выявлены закономерности изменения формы нахождения урана от рассеянной к форме собственных микроминералов по мере приближения к Ульбинскому металлургическому заводу.

## Литература

1. Барановская Н. В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем : автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
2. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 185 с.
3. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – Т.1. – 47 с.
4. Комплексная оценка экологии и здоровья населения промышленного города / А.Б. Самакова, А.А. Белоног, В.С. Якупов и др. – Алматы : Багира, 2005. – 300 с.
5. Красовская И.А., Галкин А.П. Методические основы комплексной оценки эколого-геологического состояния городских территорий // Ученые записки УО ВГУ им. П.М. Машерова. – 2006. – Т. 5. – С. 223–239.
6. Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Ренне О.С. Использование сетевых снегосъемок для изучения загрязнения снежного покрова // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 7. – С. 74–78.
7. Рихванов Л.П., Осипова Н.А., Петрова Л.А. Геохимические особенности почв и почвогрунтов г. Усть-Каменогорска.

- ногорска // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012. – №1 (18). – С. 54–62.
8. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПИ, 1997. – 384 с.
  9. Элементный состав ливы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем // Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, Н.В. Барановская и др. // Экология и промышленность России. – 2015. – № 6. – С. 58–63.
  10. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932–83. – М.: Госкомгидромет, 1991. – 693 с.
  11. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / под ред. А.П. Соловова, А.Я. Архипова, В.А. Бугрова и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
  12. Ульяновский металлургический завод: [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ulba.kz> (дата обращения: 02.04.2015).
  13. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. – СПб.: Наука, 2005. – 339 с.
  14. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Томск, 2006. – 47 с.
  15. Ялалтдинова А.Р., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Влияние выбросов промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска на формирование элементного состава листьев тополя // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (85). – С. 108–113.
  16. Ялалтдинова А.Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска: дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск: ТПУ, 2015. – 172 с.

## АНАЛИЗ МАКРОМАСШТАБНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ $^{137}\text{CS}$ ПОЙМЫ Р. ЕНИСЕЙ

Т.В. Ярославцева<sup>1</sup>, В.Ф. Рапута<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт гигиены Роспотребнадзора, Новосибирск, Россия, [tani-ta@list.ru](mailto:tani-ta@list.ru)

<sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия, [raputa@sccc.ru](mailto:raputa@sccc.ru)

## AN ANALYSIS OF THE MACRO-SCALE POLLUTION OF $^{137}\text{CS}$ OF RIVER YENISEI FLOODPLAIN

T.V. Yaroslavtseva<sup>1</sup>, V.F. Raputa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Hygiene of Rosпотребнадzor, Novosibirsk, Russia, [tani-ta@list.ru](mailto:tani-ta@list.ru)

<sup>2</sup>Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, [raputa@sccc.ru](mailto:raputa@sccc.ru)

Numerical analysis of aero-gamma survey data in 1993 of river valley Yenisei was conducted. It is shown that macroscale pollution floodplain from Krasnoyarsk MCC to Igarka is determined by a relatively small number of factors, which primarily include the structural features of the left and right banks, due to the Coriolis force, and the influence of the major tributaries – the Angara and Stony Tunguska. Pollution of flood left bank of  $^{137}\text{Cs}$ , as well as a total of both banks, it can be described satisfactorily using the basic hydrological characteristics: the water flow in the river and the height of the flood.

### Введение

При обработке и интерпретации результатов экспериментальных исследований радиоактивного загрязнения долины Енисея методами постановок прямых и обратных задач переноса примеси могут возникнуть значительные затруднения, связанные с неадекватностью используемых математических моделей имеющимся объемам данных наблюдений. Эти трудности, как правило, усугубляются дискретным характером данных измерений и непрерывным описанием процессов переноса и трансформации радиоактивных примесей. При прямом моделировании переноса радионуклидов в речном русле необходимо задание большого числа гидрологических параметров, характеристик распределения нуклидов в системах вода-взвесь и вода-донные отложения и т.д., что в конечном итоге значительно сужает область применимости этих моделей, несмотря на их, достаточно универсальный характер [1–3]. При использовании постановок обратных задач нежелательно слишком детальное описание процессов миграции радионук-

лидов, поскольку это может привести к большим трудностям их обоснования и численной реализации.

Количественные закономерности крупномасштабного радиоактивного загрязнения поймы р. Енисей. Загрязнение поймы реки радионуклидами связано в основном с протекающими в ней паводковыми явлениями. Наиболее интенсивно этот процесс происходил, по-видимому, при разрушении прудов-отстойников Красноярского горно-химического комбината во время паводков 1966, 1972, 1988 гг., отличавшихся высоким подъемом воды в реке [4]. В связи с этим представляется целесообразным провести на данных наблюдений предварительный количественный анализ распределения радионуклидов по берегам реки в зависимости от ее основных гидрологических характеристик.

Поскольку процессы загрязнения берегов носили непрерывный характер, то анализ и интерпретация данных точечных наблюдений по редкой и нерегулярной сети может вызвать значительные затруднения. Для этих целей удобнее использовать данные аэро-гамма съемок