

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭСТУАРНО-ДЕЛЬТОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЕНИСЕЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ

Лаверов Н.П., Мирошников А.Ю., Семенов И.Н., Усачева А.А., Асадулин Э.Э.,
Надъярных Г.И.,

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
(ИГЕМ РАН, Москва, Россия)*

almir@igem.ru

Введение

На правом берегу Енисея в 50-ти км от г. Красноярска расположены реакторные и радиохимические производства Горно-химического комбината (ГХК), созданного с целью наработки, выделения из облученного ядерного топлива и очистки от осколочных элементов оружейного плутония. Там же находится и полигон подземного захоронения жидких радиоактивных отходов. Границы зоны наблюдения ГХК до 2006 года были установлены условно, зона наблюдения включала территорию с радиусом 30 км вокруг точки газо-аэрозольных выбросов комбината и пойму реки Енисей на протяжении 1500 км от северной границы санитарно-защитной зоны предприятия вниз по течению реки. С 2006 радиус ближней зоны был официально ограничен двадцатью километрами, а длина дальней зоны - 1000 км поймы Енисея [1]. На эти территории приходится основное количество радиоэкологических наблюдений и исследований. Вместе с тем, техногенное радиоактивное загрязнение распространяется по реке существенно дальше, достигая Карского моря. В 1972 - 73 гг. после обнаружения в донных осадках в устье Енисея изотопов реакторного происхождения аэрогамма-съёмка поймы реки выявила самую крупную в СССР тысячекilометровую полосу загрязнения ^{137}Cs [2].

Характер загрязнения в пойме Енисея имеет преимущественно пятнистый характер, что связано с режимом течения реки и формированием донных и береговых отложений. Из-за перекрытия слоев радиоактивных осадков более поздними незагрязненными отложениями контрастность выявляемых с поверхности ореолов обычно невысока. Загрязненный радионуклидами материала при размыве и переотложении погребенных осадков может вновь оказываться в верхних горизонтах донных отложений.

По результатам анализа ряда открытых отчётов о радиационной обстановке в долине Енисея, на сайте Гражданского Центра ядерного нераспространения [3] высказано мнение, что основной вклад в долговременное загрязнение Енисея внёс радиохимический завод и, в меньшей степени, прямоточные реакторы, действие которых приостановлено в 1992 г. Влияние глобального загрязнения в контексте не рассматривалось.

В целом, радиационная обстановка на Енисее для настоящего времени оценена как не ухудшающаяся, но требующая постоянного мониторинга.

Согласно расчетам авторов работы по математическому моделированию и анализу поведения радионуклидов по пути ГХК – Енисей – Карское море, значительную роль в балансе радионуклидов играют накопление в пойменных отложениях и размыв донных и пойменных отложений. Поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в Карское море определяется, главным образом, их смывом с площади бассейна, а не работой комбината [4]. При расчетах предполагалось, что в Карское море поступает столько радионуклидов, сколько их проходит через створ около г. Дудинки (1920 км от комбината), т.е. без учета существования геохимического и гидродинамического барьеров на границе река-море (маргинальный фильтр по А.П. Лисицину). Именно здесь концентрируется основная

масса радиоактивных веществ, переносимых водами Енисея и в Карское море поступает лишь их некоторая часть. Это фактически установлено работами по изучению донных осадков в эстуариях Енисея и Оби, а также на шельфе Карского моря [5].

Актуальность исследований

В пределах территорий эстуарно-дельтовой системы Енисея проживают три коренных национальности северных народов долганы, ненцы и энцы. Последние являются близким к вымиранию коренным народом. Общая численность населения — около 5000 человек. Основные направления хозяйства местного населения в регионе — оленеводство, рыболовство, зимняя охота на песца. В пределах пойм рек и островов основное значение имеет рыболовство. Имеющиеся в районе около сотни постоянных и временных рыболовецких точек оказывают определённое влияние на условия существования водоплавающих. Низовья Енисея являются важным местом нагула и нереста рыб, в том числе осетровых и сиговых. Эти районы используются как речными, так и морскими полупроходными рыбами, занимающими важное место в пищевых цепочках. Кроме того, низовья Енисея являются оживленной круглогодичной артерией судоходства. Ежегодный грузооборот в этой части реки составляет около трёх миллионов тонн.

Территория исследований является крайне труднодоступной и малоизученной как с позиций ландшафтно-геохимических знаний, так и с точки зрения радиогеоэкологических аспектов. Поэтому все данные, полученные в ходе работ по проекту уникальны и имеют большую ценность научную и практическую ценность. Потепление климата в Арктике требуют постоянного уточнения научных прогнозов изменения параметров арктических экосистем, в том числе и тех, которые отражают радиационное состояние их компонентов. Определение особенностей миграции и концентрирования основного дозообразующего радионуклида ^{137}Cs в условиях растущей интенсивности по освоению северных территорий - одна из актуальных задач исследований.

Объекты и методы исследований

В ходе более раннего проведения радиозоэкологических работ в юго-восточной части Карского моря [5] в донных отложениях эстуария была установлена Енисейская зона повышенной активности радиоцезия (ЕЗПА). Эта зона пространственно приурочена к Енисейскому заливу, выделение ее границ осуществлялось по изолинии 15 Бк/кг удельной активности ^{137}Cs в верхнем слое донных отложений (рис.1).



РИС-1-ЕЗПА.jpg

Рис.1. Енисейская ЗПА радиоцезия и положение морских станций 2014 года (желтые кружки).

Южная часть ЕЗПА целиком располагается в пределах акватории Енисейского залива приблизительно от поселка Сопкарга почти до устья реки Сосновой. Она вытянута с юго-востока на северо-запад. Занимая всю ширину залива около 40 км, ее протяженность составляет 130 км. Центральная часть Енисейской ЗПА находится к западу и северо-западу от острова Сибирякова. При ширине около 40 км протягивается с юга на север на 100 км. Затем переходит в северную часть, протянувшуюся еще на 120 км в северо-восточном направлении. В целом вся Енисейская ЗПА имеет протяженность 340 км при ширине 40-60 км, а в ее составе были выделены участки с удельной концентрацией ^{137}Cs до 80 Бк/кг в

верхнем слое осадков. При этом в глубине осадка на уровне 5-12 см в отдельных пробах значения достигали 260 Бк/кг.

В южной части Енисейской ЗПА верхний слой донных отложений представлен алеврито-песчаными глинистыми илами. Для центральной части характерны обводненные тонкие пелитовые илы оливково-серого или черного цвета. В северной части присутствуют относительно крупнозернистые осадки, как обломочные в виде разнообразных песков, песчанистых и крупных алевритов, так и обломочно-глинистые в виде песчанистых и песчано-алевритовых пелитовых илов. В среднем гранулометрический состав отвечает алевритово-песчанистой глине.

Границы Енисейской ЗПА в существенной степени пространственно совпадают с границами фации донных осадков эстуариев и частично с фациями внутреннего шельфа, выделяемыми М.А. Левитаном с соавторами [6, 7]. Южная и центральная части Енисейской зоны находятся в осадках эстуарной фации, а северная соответствует фации внутреннего шельфа, осадки которой заметно различаются по своим фациальным признакам в зависимости от того, где они накапливаются: в палеоречных долинах, в шельфовых впадинах или на «плечах» речных долин, представленных участками погребенных равнин.

Состав комплексов глинистых минералов в осадках фациальной зоны практически не отличается от осадков зоны смешения [7]. Севернее содержание иллита возрастает, а содержание смектита уменьшается [8]. В прибрежной зоне северного Таймыра повышено содержание иллита и каолинита, а концентрация смектита резко понижена [9]. Среди легких минералов возрастает содержание кварца и величина кварц/полевошпатового отношения. Отложения равнинных частей фации внутреннего шельфа относительно обогащены такими тяжелыми минералами, как черные рудные, обыкновенные роговые обманки и гранаты, а концентрация клинопироксенов и величина клинопироксен/эпидотового отношения понижены [6, 7].



РИС-2-БРЕХ.jpg

Рис. 2. Положение точек отбора донных осадков (Е-1) и почвенных разрезов (Е-2 и Е-3) в районе Бреховских островов, пос. Носок.

В ходе проведения экспедиционных работ 2014 года в юго-восточной части Карского моря были отобраны колонки донных отложений в пределах южной и центральной частей Енисейской ЗПА по двум профилям (рис. 1). Изучение дельтовой части экосистемы проводилось на западном берегу Енисея в районе Бреховских островов у поселка Носок. На этом участке (рис. 2) была отобрана колонка донных осадков (Е-1) в "соровом" озере, расположенном на затопляемой нижней пойме, а также были отобраны пробы по двум почвенным разрезам: на нижней пойме в аллювиальной глеевой почве (Е-2) и на высокой пойме (Е-3).

Колонки донных осадков секционировались на слои мощностью по 10 мм с удалением периферийного кольца. Все пробы были высушены при температуре 60 градусов Цельсия. Удельная активность ^{137}Cs в пробах растительности, почв и донных отложений определялась γ -спектрометрическим методом на Ge(Li)-детекторе GEM-4519 (GLP-25300/13) и 8000-канальном амплитудном анализаторе 919 EG&G ORTEC (предел детектирования 1 Бк/кг) в лаборатории радиогеологии и радиогеоэкологии ИГЕМ РАН

(аналитик Р.В.Соломенников). Контроль измерений осуществлен на сцинтилляционном γ - β -спектрометрическом комплексе, оснащённом NaI(Tl)-детекторами 160×160 мм с колодцами 55×110 мм.

Результаты и их обсуждение

Ниже, на рисунках 3-7 представлены результаты измерения удельной активности радиоцезия в колонках донных отложений Енисейской ЗПА и его вертикальное распределение. Красной линией показаны линии полиномиальных трендов шестой степени.



Рис. 3 - 7. Распределение радиоцезия в вертикальных разрезах донных осадков Енисейской ЗПА на станциях 25, 26, 27, 28 и 29.

Как было отмечено выше, все колонки донных отложений анализировались по интервалам с шагом в 10 мм. По полученным значениям удельной активности радиоцезия были посчитаны средние значения для каждого горизонта. Совмещение графиков вертикального распределения средних значений удельной активности радиоцезия по данным 2014 года и данных более ранних исследований показано на рисунке 8.



Рис.8. Вертикальное распределение величин средних значений удельной активности Cs-137 в донных осадках Енисейской ЗПА в 1997-2003 году (синий) и в 2014 году (желтый).

Анализ приведенных результатов указывает на двукратное снижение уровня максимальной активности Cs-137 (по средним значениям) в ранее установленной ЗПА радиоцезия в донных отложениях эстуария Енисея (рис.8). Отмечается отчетливое смещение максимума в глубину осадка на 5 см. Оба факта свидетельствуют о существенном снижении радиационного влияния на экосистему эстуария. Максимальная активность Cs-137 в пробах 2014 года составила 68 Бк/кг, в то время как максимальная удельная активность донных осадков в одной из колонок южной части Енисейской ЗПА, установленная в 1997 году, составляла 260 Бк/кг. Достоверность полученных результатов подтверждается достаточно высоким значением коэффициента детерминации (КД) - R^2 полиномиального тренда шестой степени. Для графика, описывающего средние значения удельной активности погоризонтно в колонках, отображенных в 2014 году, КД составляет 0,985.

Распределение радиоцезия в вертикальном разрезе донных осадков, отобранных в "соровом" озере на нижней пойме (Е-1), показано на рисунке 9. Донные отложения представлены пелитовыми илами со значительным количеством органического вещества и формировались преимущественно за счет седиментации взвешенных наносов, переносимых речными водными массами Енисея в основном в период паводка. В полученных 24-х пробах значимые активности установлены только в верхних шести сантиметрах осадка. При этом максимальное значение активности радиоцезия, отмечаемое

в глубине осадка в горизонте 3 см, составляет 29 Бк/кг, а максимальная плотность загрязнения Cs-137 по площади, соответствующая этой точке, около 370 Бк/м² (рис. 9).



РИС-9-СОРОВ.jpg



РИС-10-ПОЧВ.jpg

Рис. 9 и 10. Вертикальное распределение удельной активности и плотности поступления радиоцезия в донных осадках и почвенных горизонтах нижней поймы Енисея (Бреховские острова).

В почвенном разрезе, заложенном на нижней пойме на берегу "сорового" озера, было выделено три генетических горизонта: гумусово-слаборазвитый, глеевый потечно-гумусовый и глеевый. Из стенки разреза было отобрано 11 почвенных проб и 1 проба растительности. Результаты измерений и характер распределения радиоцезия в этом разрезе показаны на рисунке 10. Максимальная активность цезия-137 зафиксирована в глеевом потечно-гумусовом горизонте в интервале 13-17 см и составляет 20 Бк/кг, а максимальная плотность радиоцезия, соответствующая этой точке, 320 Бк/м² (рис. 10).

Выводы

Исследования, проведенные по проекту в 2014 году, позволили получить новую информацию о закономерностях миграции и аккумуляции ¹³⁷Cs в различных геохимических обстановках эстуарно-дельтовой системы Енисея. Выявлены безусловные положительные тенденции в изменении радиационной обстановки северной части эстуария в Енисейском заливе, что подтверждается установленным двукратным снижением уровня максимальной активности радиоцезия в донных осадках центральной части ранее выделенной Енисейской ЗПА. Отчетливое смещение этого максимума в глубину осадка в среднем на пять сантиметров также свидетельствует о том, что в последние годы поступление радиоактивности в зону смешения пресных и соленых вод существенно снижается.

Сравнение вертикального распределения радиоцезия в озерных донных отложениях и почвах нижней поймы Енисея в дельтовой части экосистемы в районе Бреховских островов указывает на разнонаправленный характер его поступления, что свидетельствует в пользу преобладающего источника в виде перераспределенных глобальных выпадений из атмосферы, поступающих на огромную площадь водосборной макроарены.

Заключение

На изучаемой территории были отобраны пробы лишайников родов *Cladonia* и *Cetraria*. Предварительный анализ содержания радионуклидов в них указывает на реальную возможность проведения не только радиационного мониторинга для эстуарно-дельтовой экосистемы Енисея, но и предполагает возможность их использования для уточнения прогноза изменений радиационного состояния компонентов ландшафта. Продолжение исследований в этом направлении в совокупности с описанными методами, их развитием, полученными результатами и необходимыми новыми данными, которые предстоит получить, является перспективными и актуальными.

Список литературы.

1. В.С.Астраханцев. Ассоциация контрольно-счетных органов РФ, 2007, электронный ресурс, <http://www.ach-fci.ru/Krasnoyarsk/activity/bulleteni/Bul2007-2/art7> .
2. А.И. Григорьев, В.В. Коваленко, Е.В. Резвицкий, С.В. Качин. 2012, электронный ресурс: <http://www.km.ru/referats/707EEE908F484A75A637267B00D9C97F>, 2012.

3. В.Г. Хижняк. *Гражданский Центр ядерного нераспространения*, 2001, электронный ресурс <http://nuclearno.ru/text.asp?340>.
4. Ю.А. Платовских, И.В. Сергеева, Ю.В. Кузнецова, В.К. Легина и А.Е. Шишлова. *Атомная энергия*, 2003, **95**, вып. 6, 457–466.
5. А.Ю. Мирошников. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*, 2012, **6**, С. 540–550.
6. М.А. Левитан. *Кн. Очерки истории седиментации в Северном Ледовитом океане и морях Субарктики в течение последних 130 тыс. лет*, 2007, 404 с.
7. М.А. Левитан, М.В. Буртман, Л.Л. Дёмина, М.Ю. Чудецкий, Ф. Шостер. *Литология и полезные ископаемые*, 2005, **5**, 472 - 484.
8. Е.С. Шелехова. *Автореф. дисс. канд. геол.- мин. наук*, 1998, 29 с.
9. С. Muller. *Berichte zur Polarforschung*, 1999, **300**, 179 - 187.