**Техногенные радионуклиды в пойменных почвах реки Енисей в зоне наблюдения горно-химического комбината**

А.И. Григорьев, В.В. Коваленко, Е.В. Резвицкий, С.В. Качин∗

Изучено загрязнение техногенными радионуклидами пойменных почв р. Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината. Определение удельной активности изотопов 137Cs и 90Sr в пробах почвы выполнялось радиохимическим методом с последующим измерением их активности на установке с компенсацией фона УМФ-3. Приведены результаты лабораторных исследований проб, отобранных вдоль береговой полосы р.Енисей во время экспедиции 2004 г. Пойма Енисея от г. Железногорска до Карского моря конца 50-х годов прошлого столетия подвергалась загрязнению жидкими радиоактивными сбросами ФГУП Горно-химический комбинат (ГХК). В результате на берегах и островах реки образовались многочисленные участки с высоким уровнем радиоактивного загрязнения [1]. Радиоактивные вещества, аккумулированные на этих участках, создают опасность для здоровья людей, работа которых связана с рекой, местного населения, осуществляющего хозяйственную деятельность, охотников, рыбаков и туристов, отдыхающих в пойме Енисея, а также служат источником вторичного радиоактивного загрязнения поймы и биоты Енисея.

Обследование радиационной обстановки в пойме Енисея согласно доступным нам сведениям впервые было осуществлено в 1959 г., то есть вскоре после пуска первого ядерного реактора. Результаты выполненной тогда самолетной гамма-съёмки нам неизвестны. В 1972-1973 гг. после обнаружения в донных осадках в устье Енисея 65Zn и 137Cs - изотопов реакторного происхождения - была вновь предпринята аэрогаммасъёмка поймы реки, которая выявила самую крупную в СССР тысячекилометровую полосу загрязнения 137Cs. Этот период исследований может быть назван начальным [2]. Основные работы по изучению радиационной обстановки в зоне наблюдения ГХК были выполнены в конце 80-х - первой половине 90-х годов прошлого века. На берегах реки методами аэрогаммаспектрометрии было обнаружено 242 аномалии. Пешеходная съемка подтвердила наличие в пойме Енисея на участке от с. Атаманово до г. Лесосибирска 123 гамма-аномалий с мощностью дозы (МД) внешнего гамма-излучения от 45 до 450 мкР/ч. Основными техногенными радионуклидами, формирующими повышенные значения МД, считают 60Co, 134Cs и 137Cs, 144Ce, 152Eu и 154Eu. Кроме того, свой вклад в загрязнение пойменных отложений вносят 46Sc, 51Cr, 54Mn, 59Fe, 65Zn, 90Sr, 155Eu. Наиболее загрязнённые пробы донных отложений были отобраны у д. Б. Бальчуг. Максимальные значения радиоактивного загрязнения в этом районе составляли: для 137Cs от 2 до 5; 60Co от 2 до 8; 52Eu от 2 до 7; 51Cr от 4 до 40; 239Pu и 240Pu от 0,01 до 0,02 Ки/км2. Суммарная удельная активность техногенных радионуклидов в пробах грунтов, взятых у с. Казачинское, составляла до 2812 Бк/кг, на о-ве Осерёдыш - до 21 434 Бк/кг, на о-вах Пискуновский, Осерёдыш, Момотовский - до 6326 Бк/кг. Загрязнение донных отложений и пойменных почв связано с процессами адсорбции радионуклидов на взвешенных в воде частицах и седиментации их в местах замедленного течения реки [3]. Поэтому загрязнение носит пятнистый характер и ограничено островами и узкими участками берегов шириной до 50 м, периодически затапливаемыми водой, то есть поймой реки. Общая площадь загрязнённых участков по состоянию на 2000 г. оценивалась сотнями гектаров. В 1992 г. были остановлены два проточных реактора ГХК, работа которых служила основным источником радиоактивного загрязнения поймы [4]. Продолжающееся осадконакопление приводит в настоящее время к переносу ранее загрязнённого материала вниз по течению реки, его разбавлению и перекрытию слаборадиоактивными наносами, то есть к естественному захоронению радиоактивности. Сложившаяся ситуация потребовала проведения целенаправленных исследований в пойме Енисея для выявления современных участков аккумуляции техногенного радиоактивного материала, уточнения мест их расположения и определения объемов накопленной в их пределах суммарной активности радионуклидов [5]. Эти сведения необходимы для принятия обоснованных решений о целесообразности и возможности выполнения мероприятий по очистке и рекультивации поймы реки. С учётом сказанного специалисты ФГУ Центр госсанэпиднадзора в Красноярском крае в период с 2001 по 2004 гг. выполнили по заказу администрации Красноярского края углублённые исследования современной радиационной обстановки в пойме Енисея на участке реки от северной границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ГХК до района с. Абалаково. При этом было отобрано более 688 проб пойменных почв, которые подверглись радиохимическому и гамма-спектрометрическому анализу. В результате выявлено 15 наиболее загрязненных участков поймы, в том числе 7 участков на правом и 8 - на левом берегу реки. Краткая характеристика района исследования Пойма реки Енисей сложена современными галечниками и песками. Она изрезана старицами и зарастающими протоками. Низкие террасы сложены верхнечетвертичными галечниками. В составе террас, имеющих высоту над урезом воды 33...35 м, преобладают среднечетвертичные супеси и суглинки при подчинённом содержании песков и галечников. Поверхность всех этих террас ровная или пологоволнистая. Уступы террас обычно невысокие (3...7 м), слабо выражены и сглажены. Лишь в отдельных случаях терраса имеет заметный уступ [6]. Высокие террасы относятся к типу цокольных. Их отложения представлены нижнечетвертичными песками, галечниками, супесями и суглинками. Они занимают обширные пространства и залегают преимущественно на юрских осадочных толщах. Между террасами нередко развиты отчётливые уступы, в которых обнажается цоколь. Для высоких террас характерна плоская или плоско-увалистая поверхность, прорезаемая долинами многочисленных водотоков. Иногда встречаются западины овальной формы, что объясняется суффозионными процессами в лёссовидных суглинках. Используемые аналитические методы Гамма-спектрометрический анализ (ГСА). Метод ГСА основан на измерении спектров гамма-излучения анализируемых проб. По наличию в спектрах пиков, соответствующих определённым энергиям, судят о присутствии в пробах тех или иных радионуклидов, а по их интенсивностям (площадям) пиков - об их активности.

Для определения техногенных и природных радионуклидов нами использовались сцинтилляционный и полупроводниковый гамма-спектрометры, датчики которых для уменьшения вклада фона внешнего гаммаизлучения были помещены в защитный контейнер, изготовленный из стали с толщиной стенок 200 мм. Энергетическое разрешение полупроводникового спектрометра составляло около 3,0 кэВ для гаммаквантов с энергией 1332 кэВ. Такое разрешение позволяло выполнить одновременное определение в пробах активностей всех техногенных гамма-излучающих нуклидов, а также ЕРН, входящих в семейства урана и тория. Спектрометры имеют аттестованное программное обеспечение, для анализа в автоматизированном режиме. Гамма-спектрометрический анализ является относительным методом, поэтому для расчета удельных активностей использовались стандартные образцы или насыпные меры активности с известными концентрациями техногенных и естественных радионуклидов. Радиохимическое определение 90Sr и 137Cs. При определении удельной активности 90Sr производилось предварительное концентрирование этого элемента, включающее кислотное разложение пробы, осаждение стронция и ряда других элементов в виде оксалатов и последующее отделения стронция от мешающих элементов путём их соосаждения с гидроокислами железа и марганца. 90Sr, остающийся в растворе, осаждают в виде карбоната; при этом происходит дополнительная очистка стронция от мешающих элементов. После этого выполняют определение 90Sr по активности его дочернего радионуклида 90Y, измеренной на малофоновом бета-радиометре УМФ-3. 137Cs выделяют из той же навески почвы после оксалатного осаждения мешающих элементов путём осаждения в форме двойной соли с ферроцианидом никеля и последующим переводом ее в сурьмяно-иодидный цезий. Радиометрический препарат цезия измеряется также на малофоновой установке УМФ-3. Установка УМФ-3 состоит из детектора бета-излучения, блока антисовпадений и пересчетного прибора с высоковольтным блоком питания. В качестве детектора в ней используется цилиндрический счетчик бета-излучения типа СТС-5, предназначенный для измерений мягкого бета-излучения, заключенный в свинцовый домик. Блок антисовпадений, включающий в себя 17 счетчиков типа МС-6, представляет собой активную защиту, позволяющую снизить фон установки до 2 имп/мин. Этот метод также является относительным; поэтому для расчета активностей 90Sr и 137Cs использовались стандартные образцы с известными активностями этих нуклидов. Описанные методики позволяют определять удельные активности стронция-90 и 137Cs в образцах почв в диапазоне от 0,3 до 1000 Бк/кг с относительной погрешностью не более 30%. Радиохимическое определение изотопов Pu. Для определения удельной активности радионуклидов плутония пробы предварительно подвергались радиохимическому анализу, который включает операции кислотного разложения пробы массой 10...50 г, хроматографического выделения плутония на колонках с анионитом, экстракционной доочистки и последующего электрохимического осаждения плутония на подложке из нержавеющей стали. Для контроля за химическим выходом плутония в исходную пробу добавлялась изотопная метка, обычно изотоп плутония с массовым числом 242, то есть 242Pu. Альфа-активность препарата измерялась на альфа-спектрометре фирмы ORTEC. В спектрометре используется ионно-имплантированный полупроводниковый кремниевый детектор. Энергетическое разрешение спектрометра достаточно для раздельного определения активностей изотопов плутония 238Pu, 239Pu, 240Pu и 242Pu. Специальное программное обеспечение Maestro-32 осуществляет обработку полученных спектров и рассчитывает удельную активность изотопов плутония в анализируемых пробах. Предел определения активности изотопов 239, 240Pu составляет 0,05 Бк [7,8]. Полученные результаты и их обсуждение Результаты выполненной нами работы приводят к выводу о том, что радиационная обстановка на берегах Енисея после остановки в 1992 г. проточных реакторов ГХК существенно улучшилась. Если в начальный период радиоэкологических исследований (до 1992 г.) на участке реки протяженностью 280 км вниз по течению от г. Железногорска было выявлено 123 аномалии с МД от 40 до 400 мкР/ч, то в настоящее время количество таких аномалий сократилось до 48. Глубина залегания радиоактивных горизонтов по мере удаления от источника загрязнения постепенно увеличивается от 3...10 см в Бальчугской аномальной зоне до 10...20 см на Юксеевском и Посолинском участках и 20...40 см в районе Момотовской зоны (таблица). Наибольшему радиоактивному загрязнению подвергся правый берег Енисея. Об этом свидетельствуют как результаты гамма-съёмки, так и определения удельной активности 137Cs в пробах пойменных почвогрунтов. Так, при проведении пешеходной гамма-съемки левого берега Енисея практически не отмечено случаев превышения уровня МД, равного 30 мкР/ч, тогда как на правом берегу значения МД, превышающие 30 мкР/ч, встречаются постоянно. Существенно различаются и средние значения удельной активности 137Cs в пробах, отобранных на левом и правом берегах. Для левобережных проб этот показатель равен 72±4 Бк/кг, тогда как для проб правого берега он составляет 508±90 Бк/к Это объясняется преобладанием аномальных результатов определения 137Cs в пробах, отобранных на правом берегу (рис.1 и 2). Кроме того, на аномальных участках левого берега удельная активность 137Cs в почвогрунтах возрастает в среднем до 812 Бк/кг, а правого - до 7931 Бк/кг.

Таблица

Характеристика современного техногенного радиоактивного загрязнения левого берега р. Енисей на участке от с. Атаманово до устья р. Ангара (85-285 км по фарватеру)



Радионуклидный состав загрязнения на склоне высокой поймы обусловлен преимущественно изотопом 137Cs. На низкой пойме, кроме 137Cs, обнаружены 60Co и 152Eu. Корреляционный анализ показывает, что на участках с комплексным загрязнением наблюдается сильная положительная связь между 60Co и 152Eu с коэффициентом ранговой корреляции 0,73. По отношению к 137Cs эти радионуклиды ведут себя крайне антагонистично, образуя сильные отрицательные значения с коэффициентами корреляции от - 0,72 до - 0,62 соответственно. Этот факт можно отнести к загрязнениям пойменных отложений радиоактивными сбросами ГХК, различных как по времени поступления, так и по радионуклидному составу. Также возможно перераспределение радионуклидов в почвенном разрезе с учетом их геохимических особенностей элементов и наличия разных геохимических барьеров.

**Список литературы**

1. Анализ изменения радиационной обстановки на р. Енисей после прекращения эксплуатации проточных реакторов АД и АДЭ-1: Отчёт ГХК / П.В. Морозов и др. − Красноярск-26, 1992. − 13 с.

2. Жидков В.В. Радиоэкологические последствия результатов работы производств по выпуску оружейного плутония на ГХК. Результаты последних исследований / В.В. Жидков, А.Н. Шишлов // Судьба отработавшего ядерного топлива: проблемы и реальность: Сб. докладов III Международной радиоэкологической конференции. − Красноярск, 1996. − С. 172-173.

3. Бондарева Л.Г. Изучение взаимодействия техногенных радионуклидов с частицами пойменных почв методом химического фракционирования / Л.Г. Бондарева, А.Я. Болсуновский // Радиохимия. − 2002. − Т. 44, № 6. − С. 542-544.3.

4. Мартынова А.М. Оценка радиоактивного загрязнения Среднего Енисея / А.М. Мартынова, А.В. Носов // После холодной войны: разоружение, конверсия и безопасность: Сб. докладов II Международной радиоэкологической конференции. − Красноярск, 1995. − С. 176-178.

5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. СП 2.6.1.799-99 . М.: Минздрав России, 2000. − 98 с.

6. Гритченко З.Г. Хронология формирования радиоактивно-загрязнённых пойменных и донных отложений реки Енисей с помощью радиоактивных изотопов европия / З.Г. Гритченко, Ю.В. Кузнецов, В.К. Легин, В.Н. Струков // Радиохимия. − 2002. − Т. 44, № 2. − С.185-190.

7. Атурова В.П. Первые результаты определения плутония в донных отложениях Енисея и почвах Красноярского края / В.П. Атурова, В.В. Коваленко // Судьба отработавшего ядерного топлива: проблемы и реальность: Сб. докладов III Международной радиоэкологической конференции. − Красноярск, 1996. − С.81-91.

8. Кузнецов Ю.В. Изучение поведения плутония-239/240 и цезия-137 в системе река Енисей.Карское море / Ю.В. Кузнецов, В.К. Легин, А.Е. Шишлов, А.В. Степанов, Ю.В. Савицкий, В.Н. Струков // Радиохимия.

− 1999. − Т. 41, № 2. − С. 181-186.