

Рис. 2. Кинетика сорбции уранил-ионов с концентрацией 100 мкг/л композитными биосорбентами. (по оси x- время, по оси y- степень сорбции)

В ходе экспериментов было установлено, что достаточно высокий уровень относительной сорбции достигается за 12 часов от начала контакта уранил-ионов с сорбентом и в течение следующих часов мало изменяется. Из таблиц видно, что максимум сорбции наблюдается через 12 часов. Это означает, что необходимость удалить композитный биосорбент из воды различной природы (модельный раствор, технические воды, природные воды) в течение 12 часов от начала процесса сорбции. Максимальная степень сорбции у сорбентов с нано трубками TiO_2 .

Мы установили оптимальное время (12 часов), необходимое для максимальной сорбции уранил-ионов композитным сорбентом.

Литература.

1. Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных сред / Г.В. Мясоедова, В.А. Никашина // Российский химический журнал. - 2006. - Т.50, №5. - С.55-63.
2. Влияние комплексобразования на миграционную способность меди в природных и сточных водах / Г.В. Леонтьева, В.В. Вольхин, О.И. Бахирева и др. // Тез. 15 Менд. съезда, Обнинский симп. «Радио-экологические проблемы в ядерной энергетике и при конверсии производства» Т.2, 1993. - 108 с.

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.С. Дмитриев, магистрант, М.В. Василевский, к.т.н., доц.

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56

E-mail: Ilya_Dmitriev_1994@mail.ru

Аннотация. Дается краткая характеристика средств обеспыливания воздуха в системах транспортировки дисперсных материалов, и их эффективности. Показывается необходимость оперативного контроля запыленности воздуха. Измерение дисперсного состава пыли в потоке газа импакторами трудоемко и требует соблюдения необходимых трудновыполнимых условий для качественного анализа. Предлагается метод расчета дисперсного состава пыли, фракционной концентрации частиц в потоке, на основе дисперсного анализа уловленной пыли пробоотборным стандартным циклоном и применением фракционных эффективностей улавливания частиц пробоотборным циклоном.

Abstract. We give a brief description of the means of air dust dispersed in materials handling systems and their effectiveness. The necessity of operational control airborne dust. Measurement of the particulate composition of dust in the gas stream impactors time-consuming and requires compliance with burdensome conditions necessary for qualitative analysis. The method of calculation of the particulate composition of the dust, fractional concentration of particles in the flow, based on the analysis of collected dust particulate sampling and the use of a standard cyclone fractional efficiencies of particulate matter sampling cyclone.

Ленточные конвейеры, элеваторы (нории) являются наиболее распространенными машинами непрерывного транспорта [1]. Пространственная конфигурация маршрутов перемещения грузов

предполагает пересыпки дисперсного материала с транспортера на транспортер, выгрузку материала на вход машины вертикального транспорта (нории), выгрузку из нории на транспортер, вновь пересыпки, выгрузка в приемный узел. Конфигурация течек и размеры их поперечного сечения должны исключать налипание и застревание в них влажного, с глинистыми включениями материала [2].

Процесс движения сыпучих материалов сопровождается значительным пылевыведением. Пылевые выбросы представляют собой опасность не только в связи с отравлениями и развитием профессиональных заболеваний, но и оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Основной причиной выноса пыли является эжекция - формирование направленных воздушных течений в потоке сыпучего материала за счет динамического взаимодействия падающих частиц с воздухом [3]. В [3, 4] приведены данные по интенсивности пылевыведений при перегрузках сыпучего материала в различных производствах. Пыление в узлах пересыпки зависит от степени диспергации сыпучего. Методы и оценки диспергируемости порошковых материалов приведены в [5, 6].

Обычно короб пересыпки имеет свою аспирационную сеть и пылеуловитель. Объединение нескольких коробов пересыпок в единую аспирационную сеть создает трудности при эксплуатации – выпадение материала из запыленного потока, образование отложений, трудности с поддержанием необходимого расхода воздуха во всех сечениях сети, повышенные энергозатраты на транспортирование больших запыленных объемов воздуха на большие расстояния к месту централизованной очистки. Количество пыли, отходящей только от одного короба пересыпки дробленого известняка, может составлять 200 кг/час. Количество воздуха необходимого для аспирации коробов пересыпок конвейерных систем обычно не превышает 10–15 тыс. м³/час [4, 7].

В качестве пылеуловителей применяются групповые циклоны и фильтры. Фильтры в большинстве случаев оказываются неработоспособными. Производители фильтров зачастую указывают малую поверхность фильтрации, высокие удельные нагрузки по воздуху, мотивируя возможностью подбора режима регенерации фильтрующих перегородок. Например, фильтр ФКЦ/Л–6,20 [10] имеет следующие характеристики: площадь фильтрации элемента 4,6 м², расход воздуха 2000 м³/ч, мощность 1,5 кВт, масса 210 кг. В этом случае удельная нагрузка по воздуху на фильтр составляет 435 м³/м²·ч=12 см/с, что на порядок больше значений удельных нагрузок на фильтрующие перегородки промышленных фильтров. В тканевых фильтрах скорость фильтрации поддерживается в диапазоне 0,2–2 см/с [11, 12]. При большей скорости происходит чрезмерное уплотнение пылевого слоя, сопровождающееся резким увеличением его сопротивления. При повышенных перепадах давления и скорости частицы проникают вглубь ткани, наблюдается нарушение первоначально сформированного пылевого слоя, сопровождающееся вторичным уносом пыли. При повышенной скорости фильтрации резко возрастает проскок пыли после регенерации и требуется при высокой скорости фильтрации слишком часто проводить регенерацию, ускоряющую износ ткани. Для обеспечения надежности и высокой эффективности требуются большие фильтрующие поверхности [12], большие размеры самого устройства, что затрудняет его применение в системах аспирирования узлов пересыпки сыпучего конвейеров. Поэтому в большинстве случаев применяются циклонные обеспыливатели воздуха.

Опыт эксплуатации батарейных, групповых циклонных обеспыливателей с пылеприемным бункером показывает, что общая эффективность оказывается намного ниже, чем эффективность обеспыливания в одиночном циклоне из-за гидравлической неуравновешенности элементов, при которой возникают перетоки газа между ними. В случае перетоков воздуха вынужденный вихрь формируется внутри циклонного элемента, частицы не могут пройти в пылевыводное отверстие, происходит их накапливание и вынос в зону очищенного газа [8]. Другой причиной неудовлетворительной работы групповых циклонов может быть более интенсивное протекание жгутообразования из частиц в конической части циклонных элементов. С ростом концентрации частиц на входе в аппарат происходит торможение крутки потока, особенно в области пылевого отверстия. Анализ показывает, что в конической части при повышенных концентрациях крупных частиц происходит их накапливание и начало вынужденного вихря перемещается из приемника в объем циклонного элемента. В конвейерных системах воздухоочистки концентрация частиц претерпевает значительные колебания. В конических и цилиндрических циклонах в области пылевых отверстий происходит усиление нестационарного взаимодействия частиц на поток в сотни раз. Поэтому начало формирования вынужденного вихря может перемещаться в объем циклона периодически. В групповых воздухоочистителях это обстоятельство является одной из причин понижения эффективности обеспыливания потока и нарушения процесса сепарации [8]. Также причиной снижения эффективности может быть перемешивание вытекающих

из пылевыводных отверстий элементов концентрированных факелов, в результате чего в приемнике циклона образуется турбулентная буря и осаждение мелких частиц затруднительно.

В связи с неустойчивостью работы воздухообеспыливающих систем требуются оперативные системы контроля запыленности воздуха.

Эффективность обеспыливания газов промышленными аппаратами определяется путем замера расхода газа и концентраций пыли на входе и выходе из аппаратов, а также гидравлические сопротивления.

Современные методы измерения запыленности газов, представленные в ГОСТ Р 50820–95, оговаривают условия проведения замеров: наличие подобия распределения скоростей и полей концентраций и наличие стабилизационного вертикального участка, где происходит отбор. При этом должно выполняться требование отсутствия в потоке сгустков, жгутов пыли, которые пробоотборник не фиксирует. При несоблюдении этих требований для оценки эффективности работы пылеулавливающей аппаратуры требуется проводить практически мгновенные измерения полей концентраций, что при современных методах и средствах физически невозможно. Наиболее широко применяются в промышленности импакторы НИИОГАЗ (рис.1).

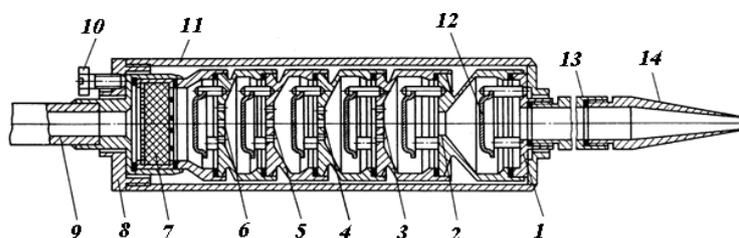


Рис. 1. Импактор со сменными подложками [9]: 1, 2 – одиночные сопла; 3–6 – сопловые решетки; 7 – фильтр; 8 – крышка; 9 – отсосная трубка; 10 – болт для поджима прокладок; 11 – корпус; 12 – сменная тарельчатая подложка; 13 – пробоотборный носик; 14 – сменный наконечник.

Принцип действия каскадных импакторов основан на инерционной сепарации частиц по размерам при пропускании пробы газа через ряд последовательно установленных сопел или сопловых решеток с расположенными под ними осадительными поверхностями (подложками). Сопло или сопловая решетка и расположенная ниже решетка составляют каскад прибора. Диаметры одиночных сопел или диаметры и число в сопловых решетках подбирают так, чтобы размеры частиц, которые могут осесть в данном каскаде были меньше размеров частиц, способных осесть в предыдущем. Чтобы не было отскока частиц и сдувания, на поверхность подложки наносят липкую смазку.

Дисперсионные анализы сводятся к определению относительной доли и размеров частиц, осевших в каждом каскаде после отбора пробы газа. Калиброванием определяют зависимость $Stk = w\delta^2\rho_\delta / \mu D_c$, где w – скорость газа в сопле; ρ_δ , δ – плотность и диаметр частиц; μ – динамическая вязкость газа; D_c – диаметр сопла. При этом рассчитывают значение δ_{50} – размер частиц осаждаемых с эффективностью 50% в каждом каскаде [9]: $\delta_{50} = A(\mu/Q\rho_\delta)^{0,5} C^{-0,5}$, $A = \frac{\pi}{4} D_c^3 n Stk_{50}$, где Q – расход газа при отборе пробы; C – поправка Кэннингема; Stk_{50} – значение числа Стокса, отвечающее 50% эффективности осаждения частиц в каскаде и определяющееся при калибровке прибора. Значения параметров A для каскадов приведены в [9].

Использование импакторов сопровождается необходимостью их тарирования для конкретных сред, а также определенными условностями относительно распределения частиц по фракциям. Общая концентрация частиц в потоке при идеальных условиях отбора их аллонжем и анализа может быть определена более точно, чем с использованием импактора, однако в реальных условиях существуют большие ошибки в определениях концентраций. Данные исследования показывают, что на

точность измерения влияет параметр $\psi = \frac{\rho_\delta}{\rho} \frac{\delta^2 U_0}{D 18\nu}$ и параметр U_0/U_S , где ρ_δ , ρ – плотности час-

тиц и газа; δ , D – диаметры частиц и отверстия приема потока пробоотборника; ν – коэффициент кинематической вязкости; U_0 , U_S – скорости в потоке газа и приемном отверстии наконечника пробоотборника. Обзор методов оценки ошибки измерения концентрации пыли с использованием про-

боотборников представлен в [10]. Для уменьшения ошибки следует применять пробоотборники с расходом запыленного газа десятки м³/ч [11].

Пробоотборный циклон с фильтром (рис.2) позволяет определить количество пыли, прошедшей через циклон $G=G_{ул}+\Delta G_{ф}$, где $G_{ул}$ –вес пыли в приемнике циклона, $\Delta G_{ф}$ –привес фильтра. Обозначим $M_{iул}=G_{ул}\Phi_{iул}$ – вес i -й фракции пыли в пробе циклона, $\Phi_{iул}$ – относительное содержание i -й фракции в уловленной пыли циклона; $\eta_i=M_{iул}/M_i$; $M_i=G\Phi_i$, Φ_i – относительное содержание i -й фракции в пыли на входе в циклон, $\eta_0=G_{ул}/G$ общий к.п.д. циклона, $\Phi_i=(\Phi_{iул}/\eta_i)\eta_0$.

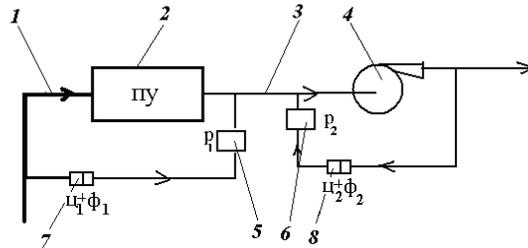


Рис. 2. Схема контроля запыленности воздуха в ситеме обеспыливания воздуха:

- 1– воздуховод запыленного воздуха; 2 – пылеуловитель; 3 – воздуховод обеспыленного воздуха;
4 – вентилятор; 5, 6 – расходомеры в пробоотборных контурах;
7, 8 – блоки циклоны с фильтрами в пробоотборных контурах.

Концентрация пыли в потоке, $C = \frac{G}{Qt}$, Q –расход газа через циклон, t –время отбора пробы;

концентрация i -й фракции в потоке

$$C_i = \frac{M_i}{Qt} = \frac{M_{iул}}{Qt\eta_i} = \frac{G_{ул}\Phi_{iул}}{\eta_i Qt} \quad (1)$$

Полная эффективность промышленной установки определится как

$$\eta_{пн} = 1 - \frac{C_2}{C_1} = 1 - \frac{G_2 Q_1 t_1}{G_1 Q_2 t_2} \quad (2)$$

где C_1 –концентрация пыли в загрязненном газе, C_2 –концентрация пыли в очищенном газе, G_1 , G_2 – количества пыли, прошедших через пробоотборные циклоны со стороны загрязненного и очищенного газа в промышленной установке; Q_1 , Q_2 – расходы газа через пробоотборные циклоны со стороны загрязненного и очищенного газа в промышленной установке; t_1 , t_2 – время отбора проб в пробоотборные циклоны со стороны загрязненного и очищенного газа в промышленной установке. Фракционная эффективность промышленной установки определится как

$$\eta_{ин} = 1 - \frac{C_{i2}}{C_{i1}} = 1 - \frac{\Phi_{2ул} G_{2ул} \eta_{i1} Q_1 t_1}{\Phi_{1ул} G_{1ул} \eta_{i2} Q_2 t_2} \quad (3)$$

Общепринято, что процесс сепарации частиц в циклоне определяется случайными и независимыми друг от друга факторами, и распределение фракционной эффективности определяется логарифмически –нормальным законом распределения Гаусса [9]. Для логарифмически нормального распределения фракционных эффективностей

$$x = \frac{\ln \delta - \ln \delta_{50}}{\ln \sigma_{\eta}}, \quad F(\delta) = \eta_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(\ln \delta - \ln \delta_{50})^2}{2 \ln^2 \sigma_{\eta}}\right) dx,$$

где δ_{50} – диаметр частицы, улавливаемой циклоном с эффективностью 50 %, $\ln \sigma_{\eta}$ –дисперсия в распределении фракционной эффективности выделения частиц из потока циклоном. На рис. 3 показаны кривые объемного распределения и интегрального распределения частиц по размерам, полученных с помощью прибора Malver Mastersize 2000 [12, 13]. Фракционное объемное содержание частиц

в потоке на входе в пробоотборный циклон рассчитывается по формуле $\Phi_{\text{вх}} = \eta_{\text{ц}} \frac{\Phi_{\text{цл}}}{\eta_{\text{цл}}}$ Эффектив-

ность пробоотборного циклона $\eta_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{ц}}}{G_{\text{ц}} + \Delta G_{\text{ф}}}$, где $G_{\text{ц}}$ –вес пыли в приемнике циклона,

$\Delta G_{\text{ф}}$ –привес фильтра. $\bar{G}_{\text{цл}} = \frac{G_{\text{цл}}}{G_{\text{ц}}} = I_{i+\xi} - I_{i-\xi} = \Phi_i^{\text{mal}} 0,3k$ В качестве пробоотборных циклонов при-

меняются стандартные циклоны СК–ЦН–34, ЦН–11. Величина δ_{50} для конкретного циклона рассчиты-
вается из условия, что в геометрически подобных ему циклонах эффективность определяется чис-
лом Stk ; $\eta_{\text{ф}} = \eta_{\text{ф}}(Stk)$; $Stk = 2\tau W_{\text{пл}} / D$; $\tau = \rho_{\delta} \delta^2 / 18\mu$, откуда $\delta_{50} = \delta_{50}^{\tau} (D/D_{\tau} \cdot \rho_{\delta\tau} / \rho_{\delta} \cdot \mu / \mu_{\tau} \cdot W_{\tau} / W)^{0,5}$, где ди-
намическая вязкость газа $\mu_{\tau} = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; расходная плановая скорость $W_{\tau} = 3,5$ м/с; диаметр ци-
линрической части циклона $D_{\tau} = 0,6$ м; плотность частиц $\rho_{\delta\tau} = 1930$ кг/м³. Расчет показывает, что для
циклона СК-ЦН-34 диаметром 100 мм при $W_{\tau} = 1$ м/с и идентичных остальных параметрах размеры
частиц с соответствующими фракционными эффективностями следующие: $\delta_{98} = 5,6$ мкм; $\delta_{84} = 2,8$
мкм; $\delta_{50} = 1,4$ мкм; $\delta_{16} = 0,7$ мкм; $\delta_2 = 0,35$ мкм.

$$\bar{G}_{\text{вх}} = \frac{G_{\text{вх}}}{G_{\text{вх}}} = \frac{G_{\text{цл}}}{G_{\text{вх}} \eta_{\text{цл}}} = \frac{\bar{G}_{\text{цл}} G_{\text{ц}}}{G_{\text{вх}} \eta_{\text{цл}}} = \frac{\eta_{\text{ц}}}{\eta_{\text{цл}}} \Phi_i^{\text{mal}} 0,3k$$

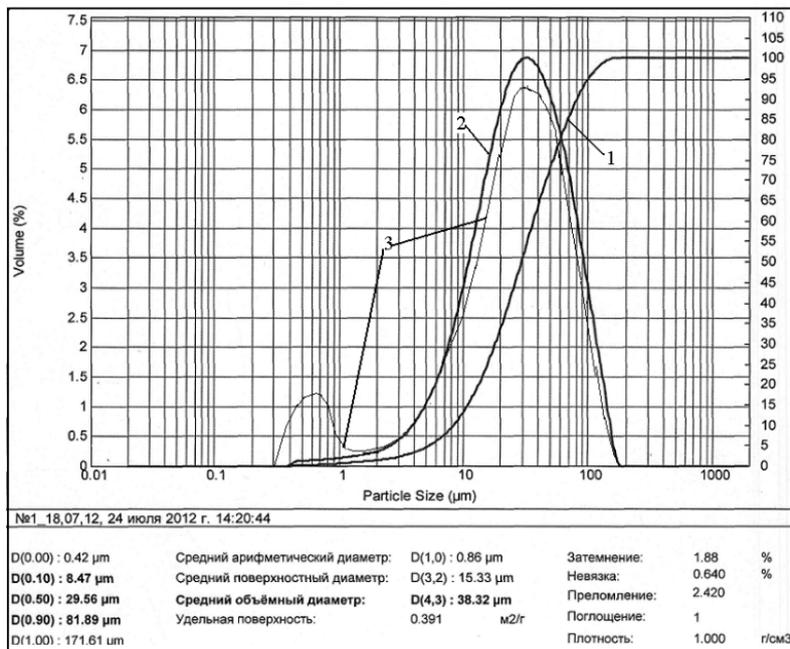


Рис. 3. Кривые объемных распределений частиц:

1–Интегральная кривая относительных объемов частиц меньше заданного размера пыли в пробоот-
борном циклоне $I(\delta)$; 2– фракционная кривая относительных объемов частиц пыли в пробоотборном
циклоне $\Phi^{\text{mal}2}(\delta)$; 3– расчетные фракционные относительные объемы частиц пыли в исходном пото-
ке $\Phi^{\text{mal}3}(\delta)$.

Для построения кривых распределения в области субмикронных частиц используют предпо-
ложение о логарифмически–нормальном распределении таких частиц.

Сопоставление кривых на рис. 3 показывает увеличение относительных объемных содержа-
ний мелких частиц на выходе из системы обеспыливания газов, причем распределение частиц явля-
ется двухмодальным. Это свидетельствует о том, что существует несколько механизмов пылеобра-
зования в системе.

Литература.

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машино-
строение, 1980. –304 с.

2. Тарасов, Ю. Д. Загрузочные и разгрузочные устройства ленточных конвейеров / Ю. Д. Тарасов. – М. : Недра, 1995. – 202 с.
3. Аэродинамические основы аспирации: Монография / И.Н.Логачев, К.И.Логачев. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. 659 с.
4. Василевский М.В., Романдин В.И., Зыков Е.Г. Транспортировка и осаждение частиц в технологиях переработки дисперсных материалов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.–288 с.
5. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов.– М.: Металлургия, 1982. –256 с.
6. Нейков О.Д., Логачев И.Н. Аспирация при производстве порошковых материалов. –М: Металлургия, 1973.– 192 с.
7. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Логинов В.С., Разва А.С., Некрасова К.В., Литвинов А.М., Глушко А.Ф., Кузнецов В.А.. Устойчивость обеспыливания воздуха инерционными аппаратами в аспирационных сетях конвейерных систем.// Цемент и его применение– 2009, №1, с. 17–19.
8. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Логинов В.С. Устойчивость газоочистки в циклонном пылеуловителе // Изв. РАН Энергетика, 2005. – №5. –С. 113–124.
9. Справочник по пыле- и золоулавливанию //Под ред. М.И . Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
10. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер с англ. –М.: Химия, 1981, 616 с.
11. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.–248 с.
12. <http://www.malvern.ru/labrus/products/Mastersizer/ms2000/mastersizer2000.htm>
13. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Полюшко В.А., Романдин В.И., Разва А.С.. Расчет дисперсного состава пыли в потоке газа по эффективности пробоотборного циклона //Материалы восемнадцатой Всеросс. науч.-техн. конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность.» – Томск: Изд-во ТПУ, – 2012. С. 170–173.

СОРБЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ КОМПОЗИТНЫМИ БИОСОРБЕНТАМИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОДНЫХ СРЕДАХ

А.Л. Новикова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

г. Томск, пр. Ленина, 30, тел 8-923-437-85-86

E-mail: furia.08@mail.ru

Аннотация. В данной статье исследуется сорбция радионуклидов композитными биосорбентами в двух разных водных растворах, первый был взят из реки Ромашка (Северск), второй отобран с предприятия по переработке радиоактивного сырья. Исследования показали что, композитный биосорбент *A.niger* + CuO имеет большую сорбционную способность, чем *A.niger* + TiO₂.

Abstract. This article examines the sorption of radionuclides composite biosorbents in two different aqueous solutions, the first was taken from the river Romashka (Seversk), the second selected enterprises for processing of radioactive raw materials. Studies have shown that composite biosorbent *A. niger* + CuO has a greater sorption capacity than *A. niger* + TiO₂.

Развитие атомной энергетики приводит к накоплению значительных количеств радиоактивных отходов. Источниками радионуклидных загрязнений могут быть аварии на предприятиях атомной промышленности, глобальные загрязнения в результате ядерных взрывов. До 80% токсичных радиоактивных загрязнений поступает в природные водные среды, превращая их в наиболее мощное депо радионуклидов, попадая в грунтовые воды и загрязняя при этом запасы питьевой воды.

Поэтому ключевая проблема в разработке технологий для удаления радиоактивных элементов из окружающей среды заключается в изобретении материалов, которые могут эффективно адсорбировать радионуклиды, в первую очередь, из водных объектов.

Объектом исследования являются композитные биосорбенты на основе плесневых грибов *A.niger* наноматериалов (наночастиц оксида меди, и нанотрубок диоксида титана) способные сорбировать радионуклиды в различных средах.