

УДК 628.18
ББК 28.09

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ
МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРЫ**

Тиллобоев Хакимдҷон Ибрагимович – доцент кафедры органической и прикладной химии Худжандского государственного университета имени академика Бободжона Гафурова (Республика Таджикистан, г.Худжанд), e-mail: tilloboev-2006@mail.ru

Мухидинова Мафтуна Мунировна – заведующая кафедрой специальных дисциплин негосударственного образовательного учреждения Институт промышленности и сервиса в г.Худжанде. (Республика Таджикистан, г.Худжанд), e-mail: maftunmuhidinova93@mail.ru

**ИСТИФОДАИ МОДЕЛИ МЕЪЁРӢ
БАРОИ ТАДҚИҚОТИ
ПАҲНШАВИИ ИФЛОСШАВИИ
РАДИОАКТИВӢ ДАР
АТМОСФЕРА**

Тиллобоев Хакимдҷон Ибрагимович – дотсенти кафедраи химияи органикӣ ва амалии Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобоҷон Гафуров (Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Хучанд), e-mail: tilloboev-2006@mail.ru

Мухидинова Мафтуна Мунировна – мудири кафедраи фанҳои таҳассуси Муассисаи ғайридавлатии таълимии Донишкадаи саноат ва хизматрасонӣ дар ш.Хучанд. (Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Хучанд), e-mail: maftunmuhidinova93@mail.ru

**USE OF REGULATORY MODELS
FOR STUDIES ON THE
DISTRIBUTION OF RADIOACTIVE
ATMOSPHERIC POLLUTION**

Tilloboev Hakimjon Ibragimovich - Associate Professor of the Department of Organic and Applied Chemistry, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov (Republic of Tajikistan, Khujand), e-mail: tilloboev-2006@mail.ru

Mukhidinova Maftuna Munirovna - Head of the Department of Special Disciplines of the Non-state Educational Institution of the Industry and Service in Khujand. (Republic of Tajikistan, Khujand), e-mail: maftunmuhidinova93@mail.ru

Ключевые слова: атмосфера, модель, металлы, загрязнение, ветровая эрозия, миграция, концентрация.

В данной статье рассматривается разнос радиоактивного материала за пределы открытого тела хвостохранилища и как следствие, происходит расширение зоны загрязнения. Выявлен процесс ветровой эрозии радиоактивного материала грунтов и его интенсивность-значительное влияние оказывают, в основном, два фактора: климатические условия и свойства грунта. Наиболее важный фактор загрязнения-это ветровой перенос радиоактивного материала, проведено прогнозирование распространения загрязнения с применением нормативной модели во времени на прилегающей территории Дигмайского хвостохранилища.

Вожаҳои калидӣ: атмосфера, модел, фаъолнокӣ, металлҳо, ифлосшавӣ, эрозияи шамолӣ, миграция, консентратсия.

Мақолаи мазкур оиди гузариши маводи радиоактивӣ аз ҳудуди қисми кушодаи партовгоҳ ва дар навбати худ васеъшавиши минтақаи ифлосшавӣ ба амал меояд, сухан меравад. Муайян карда шуд, ки раванди эрозияи маводи радиоактивӣ ба фаъолнокшавии назаррас ду омил таъсир менамояд: шароити иқлим ва ҳосияти хок. Аз ҳама омилҳои муҳими ифлосшавӣ, ин гузариши маводи радиоактивӣ ба воситаи шамол ва

неишғуи намудани паҳншавиши ифлосшавӣ бо истифода аз модели меъёрӣ бо мурури вақт дар ҳудуди сарҳади партовгоҳи Деҳмой мебошад.

Key words: atmosphere, model, metals, pollution, wind erosion, migration, concentration.

This article considers the spread of radioactive material outside the open body of the tailings and, as a result, the expansion of the contamination zone occurs. The process of wind erosion of radioactive soil material has been identified and its intensity is significantly influenced by mainly two factors: climatic conditions and soil properties. The most important contamination factor was identified as the wind transport of radioactive material and predicting the spread of contamination using a normative model over time to the adjacent territories of the Digmay tailings.

В Северном Таджикистане в период с 1945 г. по 1999 г. в результате горнодобывающей и перерабатывающей деятельности образовались многочисленные отвалы и хвостохранилища радиоактивных отходов. По данным «Материалов международной конференции» [1], общее количество таких отходов составляет 54,8 млн. т. на площади 180 га. Характерной особенностью этих объектов является их расположение вблизи населенных пунктов и зон активного сельскохозяйственного производства. Одним из факторов, негативно влияющих на состояние окружающей среды, является ветровая эрозия открытых поверхностей хвостохранилищ. В результате этого происходит перенос радиоактивного материала за пределы тела хвостохранилища и, как следствие, расширение зоны загрязнения.

Воздушная миграция элементов происходит в виде механического переноса твердых частиц материала хвостохранилищ с открытой поверхности и в виде газовых эманаций. Под действием атмосферных процессов – ветер, температурная инверсия, происходит подъем, перенос и оседание на почвенном и растительном покрове прилегающих территорий твердой фазы радиоактивных отходов. Под воздействием атмосферных осадков происходит перенос и аккумуляция материала в пониженные элементы рельефа. При этом происходит выщелачивание химических элементов из материала отходов, которое стимулируется воздействием кислорода и углекислого газа, содержащихся в зоне аэрации почвенного слоя и перепадами температур [2]. В результате в районе хвостохранилищ радиоактивных отходов формируется загрязнение почвенного и растительного покрова тяжелыми металлами и радионуклидами. Горизонты почв обогащаются рудными компонентами, глубина проникновения которых для различных химических элементов неодинакова и зависит от их подвижности. В областях с аридным климатом она может достигать 1,0-1,5 м [3]. Тяжелые металлы при этом используются как показатели появления в окружающей среде опасных загрязняющих веществ и как индикаторы-трассеры, фиксирующие пространственное положение ореола загрязнения.

Цель данной работы – заключалась в оценке и разработке подхода к решению задач ветрового переноса радиоактивного материала и прогнозирования распространения загрязнения с применением нормативной модели во времени на притоке трансграничной территории в Республике Таджикистан.

В качестве объектов исследования - выбраны Дигмайское хвостохранилище радиоактивных отходов за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) Согдийской области (Таджикистан).

Предмет исследования: определение степени загрязненности атмосферного воздуха от ветрового переноса радиоактивного материала за пределами СЗЗ и антропогенной нагрузки на воздушную среду. В пределах района работ представлены результаты исследований по атмосферному воздуху, с учетом преобладающего направления ветра северо-восточное и юго-западное по Согдийской области. По существу, это небольшой транзитный участок Дигмайского хвостохранилища представляет коридор между двумя продольными холмами, перекрытой защитной дамбой с целью складирования радиоактивного материала.

Нормативная (утвержденная) модель разработана в Главной Геофизической Обсерватории (ГГО) им. А.И. Воейкова и изложена в «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» - ОНД-86 (Общесоюзный нормативный документ) [4]. Модель использует теоретические и эмпирические решения уравнения турбулентной диффузии применительно к различным конкретным случаям.

Методы исследования. Отбор проб, подготовка и анализ воздушных проб осуществлялись по общепринятым методикам. В ходе экспериментов применялись химический, атомно-абсорбционный анализ. Для определения наличия тяжелых и радиоактивных металлов в исследуемых пробах с использованием спектрометра AAnalyst 800 (PerkinElmer, США). Спектрометрические и радиометрические методы использовались с прибором марки АВС-1.1. В ходе исследования для определения наличия микроэлементов в воздушных пробах, также использован спектральный атомно-

эмиссионный метод анализа. Атмохимический анализ воздуха проводили по стандартной методике. Содержание металлов в пробах воздуха определяли на масс-спектрометре "Agilent 750" (США). Кроме того, был проведен анализ фондовых материалов 2010-2015 г.г. собранных на отдельных участках Дигмайского хвостохранилища [5].

Результаты и обсуждение

Процесс ветровой эрозии поверхности хвостохранилища грунтов включает в себя два явления: сдвиг или отрыв частиц радиоактивных отходов и перенос последних. Первое характеризуется соотношением действующих на частицы сил и условием статического предельного равновесия; второе движением частиц во взвешенном состоянии, зависящим от распределения частиц в воздушном потоке по вертикали и величины транспортирующей скорости [6]. Начало движения любой частицы радиоактивного материала возникает как в результате преодоления сопротивления ее отрыву от контактов с окружающими частицами, так и в результате ее сопротивления сдвигу. Условие равновесия частиц грунта при действии сил можно записать в следующем виде:

$$g_b \cos \alpha + g_c = g_g$$

где g_b - вес частиц грунта;

α - угол между вертикалью, направленной вверх, и направлением действия отражающей силы;

g_c - силы прилипания водно-коллоидного характера;

g_g - аэродинамическая отражающая сила пульсационного характера.

Силы, отнесенные к единице поверхности частиц, могут быть выражены зависимостями следующего вида:

$\sigma_1 = A/d$ - молекулярные или ионно-электростатические силы,

$\sigma_2 = B$ - силы пластического прилипания;

$\sigma_3 = Cd$ - силы возникающие от действия веса, где d диаметр частицы.

Величины A , B , C – представляют численные коэффициенты, зависящие от величины поверхностной энергии, пластических свойств и плотности частиц. Тогда, сила, препятствующая отрыву частиц грунта вверх, выразится в виде: $\sigma_{пр} = Cd + B + A/d$

В этом случае наименее устойчивыми при прочих равных условиях, являются частицы некоторого определенного диаметра, вес которых еще недостаточно велик, чтобы обеспечить устойчивость частиц, а силы прилипания способствуют на недостаточную удельную поверхность. Условие устойчивости частиц грунта на сдвиг или опрокидывание может быть представлено следующим образом:

$$(\sigma_B + \sigma_C) \operatorname{tg} \theta = \sigma_d \operatorname{tg} \theta + \tau$$

θ - угол внутреннего трения в системе;

τ - тангенциальное напряжение, возникающее при движении воздушного потока; σ_B , σ_C , σ_d - соответственно напряжения, вызываемые силой тяжести, силой прилипания и силой аэродинамической отрывающего действия, отнесенные к единице поверхности частиц грунтов.

По исследованиям [7] начальную стадию развития процесса ветровой эрозии при определенных климатических условиях образуют частицы грунта диаметром 0,25-0,1мм. Передвигаясь скачкообразно по поверхности грунта при скорости ветра 3-6 м/с, эти частицы выбивают с поверхности более мелкие частицы ($d < 0,1$ мм.), которые поднимаясь за пределы вязкого слоя, подхватываются потоками воздуха и уносятся за пределы эродированной поверхности хвостохранилища.

Таким образом, можно сказать, что на процесс ветровой эрозии грунтов и его интенсивность значительное влияние оказывает, в основном, два фактора: климатические условия (температура и влажность воздуха, осадки и, особенно, ветровой режим) и свойства грунта, слагающего эродированную поверхность (гранулометрический состав и влажность грунта в поверхностном слое, связанность частиц грунта).

Ветровая эрозия грунтов предопределяет необходимость разработки модели и осуществления специальных противоэрозионных защит, направленных как на уменьшение скорости ветра у пылящей поверхности хвостохранилища, и на изменение свойств поверхностного слоя радиоактивного материала.

Установлено, что возможность использования модели для решения поставленной задачи основывается на связи концентрации загрязняющего вещества (ЗВ) в воздухе и количеством материала (активностью), накапливающимся на поверхности за определенный период времени.

$$Bs = C W t, \tag{1}$$

где B_s – активность осажденного материала за время t на 1 м^2 , Бк/ м^2 ;

C – концентрация ЗВ в воздухе, Бк/ м^3 ;

W – скорость осаждения, м/с.

Для расчета концентрации ЗВ, в случае практического равенства температур окружающей среды и загрязненного потока, используется формула:

$$C = K \frac{A M F n \eta}{H^{4/3}} \quad (2)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M – мощность источника, Бк/с;

n – коэффициент, учитывающий условия выхода газовой смеси;

H – высота источника выброса (для наземных источников принимается $H = 2 \text{ м}$);

η – коэффициент учета влияния рельефа;

K – коэффициент, учитывающий геометрические и скоростные параметры источника.

Мощность источника может быть определена как:

$$M = Q S \omega, \quad (3)$$

где Q – объемная активность поверхностного слоя почвы источника, Бк/ м^3 ;

S – площадь источника, м^2 .

ω – скорость ветрового подъема, м/с;

Объемная активность в первом приближении может быть заменена интенсивность гамма излучения I_γ поверхности источника, умноженную на некоторый пересчетный коэффициент R_i . Таким образом, если в формуле (2) мощность источника заменить произведением $I_\gamma^* S$, то мы получим приведенную концентрацию \underline{C} , равную

$$\underline{C} = C (\omega R_i) \quad (4)$$

Используя данное выражение в формуле (1) получаем

$$B_s = \frac{\underline{C} W t}{(\omega R_i)}, \quad (5)$$

С другой стороны с некоторыми ограничениями можно предположить, что интенсивность гамма излучения в точке осаждения S_γ , будет пропорциональна активности материала осажденного на единице площади B_s .

$$S_\gamma = B_s R_s \quad (6)$$

тогда

$$S_\gamma = \underline{C} N \quad (7)$$

где N – комплексный коэффициент, равный

$$R_s W t$$

$$N = \frac{R_s W t}{\omega R_i}, \quad (8)$$

Необходимо также учесть фоновое значение интенсивности гамма-излучения F_γ в точке осаждения. Тогда формула (7) принимает вид

$$S_\gamma = \underline{C} N + F_\gamma \quad (9)$$

Приведенная концентрация \underline{C} , для каждой точки, может быть рассчитана с помощью утвержденной программы «Гарант», реализующей алгоритм нормативной модели ОНД-86. Коэффициент N определяется в процессе калибровки модели.

Калибровка модели заключается в следующем. По одному из произвольных профилей строятся кривая теоретического распределения приведенных концентраций \underline{C} , и кривая фактического

распределения интенсивности гамма-излучения S_γ . Причем, в случае сложных рельефных и, как следствие, ветровых характеристик местности, строят несколько теоретических кривых, добиваясь максимального подобия. Коэффициент N определяется исходя из наименьшего среднеквадратического отклонения теоретических и фактических значений.

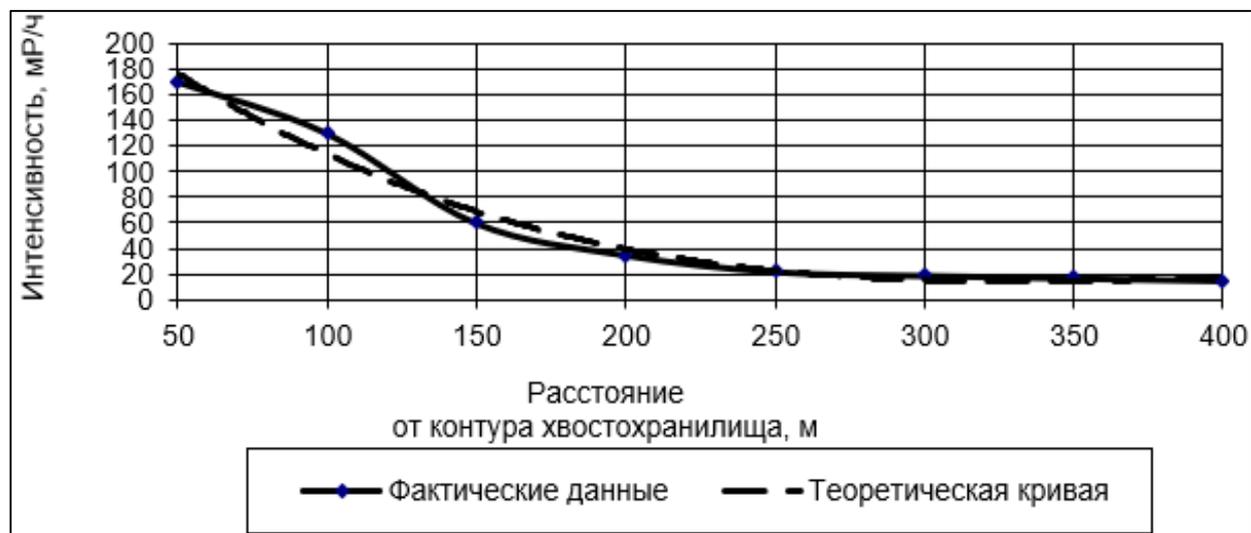


Рисунок 1. Распределение загрязнений на прилегающей территории Дегмайского хвостохранилища

Для получения полной картины распределения загрязнения необходимо разбить площадь вокруг хвостохранилища на ряд участков и провести калибровку для каждого участка отдельно, поскольку коэффициенты входящие в конечное уравнение могут значительно отличаться.

На рис 1 приведен пример калибровки модели на одном из профилей Дегмайского хвостохранилища. Теоретические расчеты удовлетворительно совпадают с практическими данными, полученными по результатам, гамма-съемки, выполненной в 2015 году.

Таким образом, было выявлено, что не процесс ветровой эрозии грунтов и его интенсивность, а значительное влияние оказывает, в основном, два фактора: климатические условия и свойства грунта, слагающего эродируемую поверхность в.т.ч. гранулометрический состав и влажность грунта в поверхностном слое, связанность частиц грунта.

Поэтому, ветровая эрозия грунтов предопределяет необходимость разработки модели и осуществления специальных противоэрозионных мероприятий, направленных как на уменьшение скорости ветра у пылящей поверхности, так и на изменение свойств поверхностного слоя грунтов.

Проведенные исследования показывают, что предлагаемая модель пылевого разноса радиоактивного материала позволяет оценивать и прогнозировать загрязнение территорий, прилегающих к радиоактивному хвостохранилищу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы международной конференции «Ферганская долина: Основные проблемы техногенных наследий в Таджикистане». г.Чкаловск, ГП «Востокредмет», 2005. С. 56-57
2. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. – М.:Недра, 1990. -142с.
3. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. – М.: Изд. МГУ. 1983. -216с.
4. «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» - ОНД-86. Л. Гидрометиздат, 1987. - 45с.
5. Салтыков Л. Д., Шалаев И.Л., Лебедев Ю.А. Радиационная безопасность при разведке и добыче урановых руд.- М.: Энегоатомиздат, 1984. -34с.
6. Соколова В.Е.Теоретические основы силикатизации лессовых и песчаных грунтов: Автореф. дис. докт. техн. наук: 25.00.36/ В.Е.Соколова М., 1965. -32с.
7. Бораев А. К.. Защита почв от эрозии. - М.: Колос, 1964. - С. 86-87.

REFERENCES

1. Proceedings of the international conference "Fergana Valley: The main problems of technogenic heritage in Tajikistan". Chkalovsk, SE "Vostokredmet", 2005. P. 56-57
2. Alekseenko V.A. Geochemistry of landscape and environment. - M.: Nedra, 1990. -142 p.

3. Geochemistry of heavy metals in natural and technogenic landscapes. – М.: Ed. Moscow State University. 1983. -216p.
4. "Methodology for calculating the concentrations in the atmospheric air of harmful substances contained in the emissions of enterprises" - OND-86. L. Gidrometizdat, 1987. – 45p.
5. Saltykov L. D., Shalaev I. L., Lebedev Yu. A. Radiation safety in the exploration and production of uranium ores. - М.: Enogoatomizdat, 1984. -34 p.
6. Sokolova V.E. Theoretical foundations of silicization of loess and sandy soils: Abstract of the thesis. dis. doc. tech. Sciences: 25.00.36/ V.E.Sokolova M., 1965. -32p.
7. Boraev A.K. Soil protection from erosion. - М.: Kolos, 1964. - P. 86-87.