ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ДОБЫЧИ УРАНА

Киличев Х. А
Докторанты НГГТУ, г. Навоий, Узбекистан
E-mail: xudoynazarqilichev@gmail.com
Курбанов Ж. С
Докторанты НГГТУ, г. Навоий, Узбекистан
Ёркулов Б .А
Доцент НУИ, г. Навоий, Узбекистан
Музафаров А. М
Профессор НГГТУ, г. Навоий, Узбекистан

Annotatsiya. Maqolada uran qazib olish hududlaridagi radiatsiyaviy ifloslangan maydonlarni rekultivatsiya qilish jarayonlarining matematik modellashtirish natijalari keltirilgan. Mualliflar tomonidan rekultivatsiya ishlarining amalga oshirilish dinamikasi hisobga olinib, matematik modellarning parametrlari aniqlashtirilgan. Tuproq namunalari ustida kompleks eksperimental tadqiqotlar o‘tkazilib, radioaktiv yemirilishning tabiiy jarayonlari, radioizotoplarning migratsiyasi va chuqurlashib borish mexanizmlari tahlil qilingan. Shuningdek, dezaktivatsiya tadbirlarining mazkur jarayonlar intensivligiga ta’siri baholangan. Tadqiqotda radionuklidlar nurlanishining atrof-muhitda tarqalishi natijasida xodimlarga salbiy radiatsion ta’sir ko‘rsatishi hamda qo‘shni hududlarning ikkilamchi ifloslanishiga sabab bo‘lishi qayd etilgan. Radiatsion fon darajasi radionuklidlarning faolligi, nurlanish turi (α, β, γ va neytron nurlanishlari), zarrachalarning energetik spektri, shuningdek muhitning zichligi va element tarkibi kabi yadro-fizik omillar majmuasi bilan belgilanishi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: radionuklidlar, radionuklidlar faolligi, erkin yugurish masofasi, uran yemirilish zanjiri, radiatsion vaziyat, uran saqlovchi namunalarni saqlash, nurlanish energiyasi, nurlanish darajasi, hududning radioaktiv ifloslanishi, muhit zichligi.

Аннотация. В статье представлены результаты математического моделирования процессов рекультивации радиационно загрязнённых территорий в зонах добычи урана. Авторами уточнены параметры математических моделей с учётом динамики проведения рекультивационных работ. Проведены комплексные экспериментальные исследования почв, в ходе которых проанализированы естественные процессы радиоактивного распада, механизмы миграции и заглубления радиоизотопов. Особое

ISSN 3030-3907

внимание уделено оценке влияния дезактивационных мероприятий на интенсивность указанных процессов. В работе отмечено, что излучение радионуклидов, распространяясь в окружающей среде, создаёт риски негативного радиационного воздействия на персонал и способствует вторичному загрязнению прилегающих территорий. Установлено, что уровень радиационного фона детерминирован совокупностью ядерно-физических факторов, основными из которых являются активность радионуклидов, вид излучения (α, β, γ, нейтронное), энергетический спектр частиц, а также плотность и элементный состав вмещающей среды.

Ключевые слова: Радионуклиды, активность радионуклидов, длина свободного пробега, цепочка распада урана, радиационная обстановка, хранение урансодержащих образцов, энергия излучения, уровень облучения, загрязнение территории, плотность среды.

Abstract. This article presents the results of mathematical modeling of reclamation processes in radioactively contaminated areas associated with uranium mining. The model parameters have been refined by incorporating the dynamics of remediation activities. Comprehensive experimental soil studies were conducted in uranium mining regions, focusing on the natural processes of radioactive decay, migration, and sequestration of radioisotopes. Furthermore, the study evaluates the impact of decontamination measures on the kinetics of these processes. It is demonstrated that radiation emitted by radionuclides can propagate through the environment, posing health risks to personnel and leading to secondary contamination of the surrounding areas. The study establishes that the background radiation level is determined by a set of nuclear-physical factors, including radionuclide activity, radiation type (α, β, γ, and neutron), particle energy and the density and elemental composition of the medium.

Keywords: Radionuclides, radionuclide activity, mean free path, uranium decay chain, radiation situation, storage of uranium-containing samples, radiation energy, exposure level, land contamination, medium density.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Согласно имеющимся литературным данным, в цепочке естественного распада урана-238 (^{238}U) имеются следующие радионуклиды: ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210}Po и ^{206}Pb (стабильный) [1–5]. Материнский радионуклид 238U при естественном распаде испускает 8 α-излучений, 6 β-излучений и 2 γ-излучения [6]. Эти излучения различаются по типу и энергии.

На основании детального изучения распределения радионуклидов — 234Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210}Po — в цепочках распада урана и их влияния на радиационную обстановку в

ISSN 3030-3907

урановых отвалах, в хвостохранилищах радиоактивных отходов, на участках подземного выщелачивания урана, на складах хранения радиоактивных технологических продуктов, в цехах прокалки закиси/окиси урана и на участках переработки продуктивных растворов выявляется основной радионуклид, вносящий максимальный вклад в увеличение радиационного фона в данных объектах [7-10]. Выявление основного радионуклида позволяет провести мероприятия по его рекультивации. Поскольку на территориях указанных радиационных объектов постоянно находится персонал, выполняющий служебные обязанности, эти объекты могут оказывать техногенное радиационное воздействие на окружающую среду.

В Республике Узбекистан действуют закон «О радиационной безопасности», Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006), которые устанавливают предельно допустимые уровни облучения персонала и нормативы воздействия на окружающую среду от источников ионизирующего излучения .

Целью исследования является математическое моделирование результатов экспериментальных исследований процессов рекультивационных работ на радиационно-загрязнённых территориях добычи урана.

1.1. Целью данного исследования. Целью данного исследования является математическое моделирование процессов рекультивации радиационно загрязнённых территорий объектов добычи урана на основе результатов экспериментальных исследований. Работа направлена на определение основных факторов, влияющих на формирование радиационной обстановки, и оценку эффективности рекультивационных мероприятий по снижению радиационного воздействия на персонал и окружающую среду.

1.2. Актуальность. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения радиационной безопасности на объектах добычи и переработки урана, где накопленные радионуклиды являются источником длительного техногенного воздействия на окружающую среду и человека. Разработка математических моделей, позволяющих прогнозировать изменение радиационной обстановки и оценивать эффективность рекультивационных мероприятий, имеет важное научное и практическое значение для минимизации радиационных рисков.

2. ТЕХНИКА И МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

В многочисленных работах, посвященных математическому моделированию результатов экспериментальных исследований процессов рекультивационных работ на радиационно-загрязнённых территориях

ISSN 3030-3907

добычи урана, отмечается, что ключевые показатели эколого-экономической эффективности проводимых работ зависят от временной динамики и усредненных значений мощности экспозиционной дозы - МЭД гамма-излучения [11]. В частности, такие показатели, как средняя кратность снижения радиационного фона после дезактивации (f) и экономическая выгода от её проведения - ($Q_{оез}$), используемые при выработке критериев вмешательства, детерминированы значениями МЭД при реализации мер рекультивации - $D_n(t)$ и в условиях невмешательства - $I(l)$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В рамках данной работы предложено уточнить параметры моделей с учетом динамики рекультивационных работ, а также протекания в почве естественных процессов радиоактивного распада и миграции (заглубления) радиоизотопов. Дополнительно рассмотрено влияние рекультивационных (дезактивационных) мероприятий на интенсивность процессов вертикальной миграции нуклидов. Учет естественных факторов представляется критически важным при долгосрочной рекультивации обширных территорий, где их вклад в изменение радиационной обстановки становится статистически значимым.

Параметр $D(t)$ в естественных условиях без вмешательства определяется процессами радиоактивного распада и заглубления в почве долгоживущих гамма-излучающих радиоизотопов.

Материнская ядро урана - ^{238}U и ее дочерние радионуклиды - ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210} Po и ^{206} Pb (стабильный), присутствует в процессе радиационного загрязнения данных объектов, и данный процесс в аналитическом виде описывается выражением (1):

$$D(t) = D(0) * F_r(t) * F_d(t), \quad (1)$$

где $D(0)$ - усредненное на территориях значение - МЭД гамма-излучения на начальный момент времени, Зв/ч; $F_r(t)$ - безразмерный фактор, характеризующий радиационный распад материнского ядро и описываемый выражением (2):

$$Q_{невм} = -\sum_i \mathrm{V} D_i^k \quad (2)$$

$$F_r = \sum_i \left[\psi_i(0) * \exp(-\lambda_i * t)\right] \quad (3)$$

где $\psi_i(0)$ - относительный вклад в суммарную - МЭД излучения от i-$го$ радиоизотопа, бэр/рентген; ψ_i - постоянная радиационного распада для i-го радиоизотопа, лет$^{-1}$; F_d (t) - безразмерный фактор, зависящий от

ISSN 3030-3907

химических свойств радиоактивных соединений и состояния почвы, учитывающий экспериментально установленную неравномерность во времени процесса заглубления радионуклидов в ней, описываемый выражением (4):

$$F_d(t) = a_1 * \exp(-\frac{\ln 2}{\tau_1} * t) + a_2 * \exp(-\frac{\ln 2}{\tau_2} * t) \quad (4)$$

где τ_1=1,5 года, τ_2= 50 лет, а безразмерные коэффициенты a_1 и a_2 подбираются индивидуально для каждого радиоизотопа на основании экспериментальных измерений параметров радиационной обстановки в динамике[12].

Параметр $D_R(T)$ для обширной неоднородно-загрязненной территории, на каждом локальном участке которой последовательно проводятся рекультивационные процедуры с эффективностью - f' по снижению - МЭД (f' может быть достоверно установлена путем измерений - МЭД на местах, в отличии от f), описывается выражением (5):

$$D_R(t) = \begin{cases} D(t), 0 \le t \le T_1 \\ D(t) * (1 - \frac{t - T_1}{T_2 - T_1}) + \frac{1}{T_2 - T_1} * \int_{T_1}^{t} \frac{D(0)}{f'} * F_r(t) * F_d(t + t_R) * \frac{F_d(x)}{F_d(t_R)} dx, T_1 < t < T_2 \\ \frac{1}{T_2 - T_1} * \int_{T_1}^{T_2} \frac{D(0)}{f'} * F_r(t) * F_d(t + t_R) * \frac{F_d(x)}{F_d(t_R)} dx, T_2 < t \end{cases} \quad (5)$$

где T_1 и T_2 - моменты начала и завершения рекультивационных работ на всей территории, лет; t_R - параметр, характеризующий изменение интенсивности миграции радионуклидов из-за проведения рекультивационных работ, лет (устанавливается экспериментально по результатам измерений - МЭД. Для рекультивации участков подземного выщелачивания урана в Кызылкумском регионе промышленных предприятиях Государственного предприятия «Навоийуран»), t_R - установлен равным 2 годам)[13].

На основании полученных результатов рекультивационных работ на участках подземного выщелачивания урана в Кызылкумском регионе промышленных предприятиях Государственного предприятия «Навоийуран» в 2023-2024 годах на рис. 1. представлены сравнительные зависимости спада усредненной значений мощности дозы - МЭД с учетом рекультивации и без рекультивации.

ISSN 3030-3907

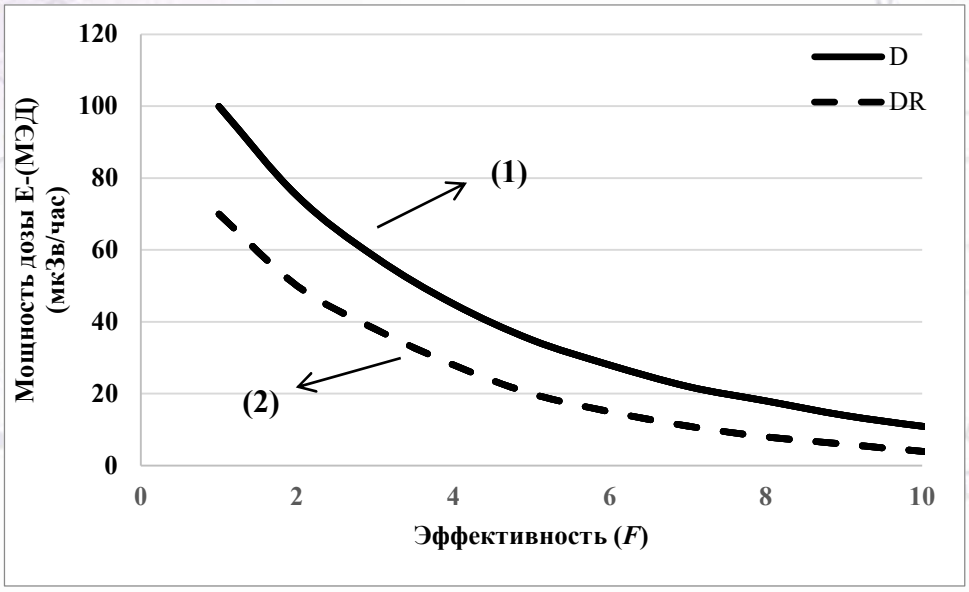


Рис. 1. Сравнительные зависимости усредненной значений мощности дозы -МЭД без рекультивации - *D* и с рекультивации - D_R

Уточненные формулы (4) и (5) позволяют оценить экономическую выгоду $Q_{без}$ от проведения рекультивационных работ на вышеперечисленных территориях, определяемую снижением стоимостного ущерба здоровью населения за период проживания [t_1; t_2], и персонала за период пребывание и среднюю эффективность f – оекультивационных работ для всей территории, которые определяются выражениями (6) и (7):

$$Q^{+}_{без} = \vartheta * N * K * \int_{t_1}^{t_2} (D(t) - D_R(t))dt, \quad (6)$$

$$f = D(\tau) / D_R(\tau), \quad (7)$$

где τ - момент времени после завершения рекультивации на всей территории; K - безразмерный фактор экранирования, учитывающий нахождение людей в этих объектах.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании проведённых исследований и сравнительного анализа результатов дезактивации участков подземного выщелачивания урана в Кызылкумском регионе на промышленных предприятиях Государственного предприятия «Навоийуран» в 2023 - 2024 годах установлено, что спад усреднённой по территории величины МЭД происходит интенсивнее на участках, где проведена дезактивация (функция (5)), и медленнее на участках, где дезактивация не проводилась (функция (1)).

Математическое моделирование рекультивационных работ радиационно загрязнённых территорий при добыче урана позволяет

ISSN 3030-3907

уточнить параметры рекультивационных мероприятий. Установлено, что процессы дезактивации загрязнённых почв вносят заметный вклад в изменение радиационной обстановки в локальных точках региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Konoplev A.V., Bulgakov A.A. Migration of radionuclides in soils. Journal of Environmental Radioactivity, 2000.
2. IAEA Remediation of Sites with Residual Radioactive Contamination. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006.
3. IAEA Management of Radioactive Waste from Uranium Production. Vienna, 2002.
4. OECD NEA Uranium Mine and Mill Remediation. Paris: OECD Nuclear Energy Agency, 2002.
5. UNSCEAR Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008.
6. Morton K.W., Mayers D.F. Numerical Solution of Partial Differential Equations. Cambridge, 2005.
7. Mathematical modeling of radionuclide transport in uranium tailings Journal of Environmental Radioactivity, 2015.
8. Reactive transport modeling in uranium mining environments. Applied Geochemistry, 2018.
9. Numerical simulation of remediation strategies for contaminated soils Environmental Modeling & Software, 2020.
10. Multiphysics modeling of uranium leaching and environmental impact. Journal of Cleaner Production, 2021.
11. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кадиров Ф.М., Латышев В.Е. Методы оценки техногенного влияния хвостохранилищ промышленных предприятий на окружающую среду //Горный вестник Узбекистана. 2002. -№2. -С. 85-89.
12. Аллаберганова Г.М., Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Журакулов А.Р. Радиометрическая оценка радиационной обстановки в промышленной и близлещажей зоне уранодобывающих предприятий. Тезисы докладов IX-Международной конференции /Ядерная и радиационная физика. - Алматы. Казахстан. 2013. стр. 222-223.
13. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Оценка техногенных экологических и радиоэкологических факторов в зоне деятельности НГМК // Горный вестник Узбекистана, 2013. №2.(53). - С. 130-134

ISSN 3030-3907