

<sup>1</sup> Р.Т. Бржанов, <sup>2</sup> Л.И. Софронова

(<sup>1</sup>Каспийский государственный университет  
технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова,

<sup>2</sup> Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВБЛИЗИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ СТЕПНОГОРСКОГО ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы, связанные с отходами производства Степногорского горно-металлургического завода. Наибольшую опасность для окружающей среды представляют радионуклиды. Рассмотрены типы почв, их сопротивляемость и способность к накоплению радионуклидов. Также отмечается, что вредные радиоизотопы распространяются через почву и атмосферу и предельные допустимые концентрации (ПДК) этих веществ уменьшаются от очага их хранения и это связано с тем, что различные почвы имеют различную проводимость этих вредных веществ. В статье также выявлены возможности для снижения влияния отходов СГМЗ на почву и растительность, а также атмосферу вблизи опасного источника радиационного заражения.

**Ключевые слова:** радиоэкологическая обстановка, радионуклиды, радиоактивные элементы, хвостохранилища.

### Введение

При изучении радиоэкологической обстановки в регионах промышленной добычи и переработки урана особо продуктивными являются исследования радиоактивности в системе «почва – растения». В биологической цепочке почва является одним из путей, через который радионуклиды проникают в кормовые и пищевые растения, а через них в организм животных и человека. Поэтому анализ и изучение путей поступления радионуклидов и тяжелых металлов в почву, основных закономерностей их поведения, накопления и миграции по трофическим цепочкам являются актуальными. Важнейшими и самыми распространенными естественными радиоактивными элементами в почве, как и в природе, являются: калий и тяжелые радиоактивные элементы (уран, торий, полоний, радий, свинец) [1].

С процессами миграции связано и понятие фиксации радионуклидов почвой, так как чем больше степень фиксации элемента твердой фазой почвы, тем меньше его участие в миграционных процессах, а, следовательно, он прочнее и дольше удерживается [2].

Почвы исследуемой территории – чернозёмы обыкновенные солонцеватые, темно- и светло-каштановые. Почвообразующими породами чернозёмов обыкновенных солонцеватых являются тяжелые засоленные суглинки и глины. Особенностью их является присутствие на глубине 15-30 см плотного горизонта

темно-бурой окраски и глыбисто-комковатой структуры. Мощность всего гумусового горизонта равна 45-60 см, а верхнего горизонта – 15-30 см. Солонцеватые чернозёмы имеют средний и тяжелосуглинистый состав. Такие почвы отличаются высоким содержанием гумуса и азота, однако с глубиной эти показатели резко уменьшаются. Установлено, что среди основных типов почв чернозёмы обладают высокой степенью устойчивости к загрязнению вообще и тяжелыми металлами в частности. Однако они не всегда способны противостоять воздействию загрязняющих веществ на их свойства [3].

Темно-каштановые почвы отличаются каштановой окраской верхних горизонтов, зернисто-комковатой структурой и имеют преимущественно среднесуглинистый механический состав. Максимальное содержание илстой фракции отмечается в уплотненном солонцеватом горизонте. Мощность гумусового горизонта 30-60 см. Такие почвы характеризуются малой подвижностью питательных веществ [4].

По результатам многократных обследований выявлено, что поверхностные слои почвы глубиной до 10 см с северной и северо-восточной сторон от дамбы хвостохранилища загрязнены мышьяком до 430 ПДК, молибденом до 16 ПДК, загрязнения почвы ураном не обнаружено (ПДК – предельно-допустимая концентрация элементов в почве: мышьяка – 2 мг/кг, молибдена – 2 мг/кг).

### **Основная часть**

Обследование территории вокруг хвостохранилища гидрометаллургического завода к северу и востоку от него показало, что максимальные содержания естественных радионуклидов отмечены на участках, прилегающих к дамбам, в границах растекания фильтрационных вод в северном и северо-восточном направлениях по естественным понижениям рельефа. Среднее значение удельной суммарной альфа-активности радионуклидов (УСАА) в почве составляло 700÷800 Бк/кг.

В пробах, отобранных по ближайшему к северной дамбе профилю, содержание загрязняющих веществ составляло 750 мг/кг по мышьяку и 740 мг/кг по молибдену. Содержание Mo и As в почве за пределами зоны периодического затопления по мере удаления от хвостохранилища снижается до фоновых значений 5 мг/кг.

Максимальная концентрация загрязняющих веществ характерна для северо-восточной части границы санитарно-защитной зоны, попадающей под влияние господствующих юго-западных ветров. Следует отметить, что часть указанной аномальной зоны (пикеты 7-12) представляет на местности ложе Сулукамысского тальвега, по которому распространялись, до устройства в 1985 году дренажной системы, фильтрующиеся из хвостохранилища воды с высокими концентрациями As и Mo и фоновыми значениями радиоактивности. Результаты исследования проб почвы с этого участка, проведенные в 1987 г, указывают на аномальные концентрации As и Mo, при фоновых значениях УСАА.

В южном направлении от хвостохранилища расположены селитебные зоны: поселки Заводской, Аксу, Кварцитка, г. Степногорск. На протяжении всей южной границы хвостохранилища величина УСАА и концентрации As и Mo фоновые, лишь в восточном окончании границы фиксировались повышенные содержания As (2-2,5 фона) и Mo (1,5 фона). Общеизвестно, что мышьяк является неотъемлемым спутником золота, поэтому, учитывая, что эта часть санитарно-защитной зоны наиболее приближена к месторождению золота, данное повышение может отражать соответствующую геохимическую обстановку [5].

Анализ полученных данных позволяет сделать предварительный вывод о том, что распространение загрязняющих веществ в южном направлении воздушным путем, обусловленное пылением хвостохранилища, незначительно и его воздействие на почвы не распространяется далее границы санитарно-защитной зоны.

В 2017 г. с целью проведения регулярных наблюдений над влиянием хвостохранилища на компоненты экосистемы, в том числе и на почвы, была вынесена на местность санитарно-защитной зоны хвостохранилища, которая закреплена металлическими маркерами (пикетами). Всего по периметру установлено 98 маркеров с шагом 200 м, табл. 1.

Таблица 1. Концентрации загрязняющих веществ в почве, 2010 г.

| Направление                                    | U     | Th  | Ra    | УСАА | As    | Mo  |
|--|-------|-----|-------|------|-------|-----|
|  | мг/кг |     | Бк/кг |      | мг/кг |     |
| Западное (1,5÷2 км от хвостохранилища)         | 2,0   | 4,4 | 275   | 1370 | 10,0  | 2,0 |
| Северо-восточное (50÷100 м от хвостохранилища) | 8,5   | 6,3 | 331   | 1954 | 40,0  | 5,0 |
| Южное (50÷100 м от хвостохранилища)            | 3,7   | 5,0 | 68    | 580  | 10,0  | 2,0 |
| ПДК  | -     | -   | -     | 850  | 2     | 2   |

В 2017 году на пикетах по периметру санитарно-защитной зоны хвостохранилища был произведен отбор поверхностных проб (глубиной до 3 см), в которых производилось определение УСАА, содержание мышьяка и молибдена.

Пробы хвостов для определения удельной суммарной альфа-активности отбирались на карте №1, а пробы почвы – в санитарно-защитной зоне севернее и южнее этой карты, севернее и северо-восточнее карты №2 и за пределами санитарно-защитной зоны. Результаты удельной суммарной альфа-активности представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что на южном участке карты №1 УСАА составляет от 46,9 до 198,2 Бк/кг, на северном участке – от 25,4 до 48,2 Бк/кг. Отношение УСАА/МЭД (мощность экспозиционной дозы) на обоих участках равно 0,106 Бк·ч/(кг·мкР).

Таблица 2. Удельная суммарная альфа-активность радионуклидов, 2017 г.

| № пробы   | Место отбора пробы                            | Мощность дозы $\gamma$ -излучения, мкР/ч | УСАА, Бк/кг |
|---|---|--|-------------|
| На южном участке (4) карты №1   |   |  |             |
| 1   | Возле пульповыпуска, карта №1                 | 580                                      | 107,9       |
| 2   | 50 м от пульповыпуска, карта №1               | 700                                      | 46,9        |
| 3   | 80 м от пульповыпуска, карта №1               | 743                                      | 82,9        |
| 4   | 130 м от пульповыпуска, карта №1              | 1150                                     | 113,2       |
| 5   | 200 м от пульповыпуска, карта №1              | 1740                                     | 198,2       |
| 6   | 150 м от южной дамбы                          | 480                                      | 48,7        |
| 7   | 100 м от южной дамбы                          | 460                                      | 60,1        |
| В СЗЗ севернее карты №1, севернее и северо-восточнее карты №2, за пределами СЗЗ |   |  |             |
| 8   | 40 м севернее дамбы, карта №1                 | 185                                      | 29,4        |
| 9   | Подножье северной дамбы, карта №1             | 414                                      | 60,1        |
| 10  | 150 м севернее дамбы, карта №1                | 46                                       | 17,1        |
| 11  | 220 м севернее дамбы, карта №1                | 44                                       | 15,4        |
| 12  | 300 м севернее дамбы, карта №1                | 37                                       | 11,4        |
| 13  | 400 м севернее дамбы, карта №1                | 24                                       | 5,3         |
| 14  | 550 м севернее дамбы, карта №1                | 18                                       | 10,1        |
| 15  | 750 м севернее дамбы, карта №1                | 16                                       | 4,4         |
| В санитарно-защитной зоне (СЗЗ) южнее карты №1                                  |   |  |             |
| 16  | 500 м южнее карты №1                          | 12                                       | 10,1        |
| 17  | 100 м южнее карты №1                          | 42                                       | 13,6        |
| 18  | Подножье южной дамбы карты №1                 | 75                                       | 25,9        |
| На северном участке (6) карты №1  |   |  |             |
| 19  | 50 м от северной дамбы                        | 490                                      | 47,4        |
| 20  | 100 м от северной дамбы                       | 510                                      | 43,9        |
| 21  | 150 м от северной дамбы                       | 500                                      | 43,4        |
| 22  | 150 м от северной дамбы (поверхностный слой)  | 540                                      | 45,2        |
| 23  | 150 м от северной дамбы (шурф на глубине 1 м) | 455                                      | 48,2        |
| 24  | 150 м от северной дамбы (шурф на глубине 3 м) | 240                                      | 25,4        |
| 25  | 800 м севернее дамбы, карта №2                | 18                                       | 4,8         |
| 26  | 100 м северо-восточнее карты №2               | 24                                       | 14,9        |
| 27  | 400 м северо-восточнее карты №2               | 15                                       | 16,2        |
| 28  | 200 м северо-восточнее карты №2               | 16                                       | 19,3        |

Таким образом, среднее значение УСАА в урановых хвостах на участках карт находится в пределах от 44,2 до 57,9 Бк/кг. В соответствии с «Санитарно-гигиеническими требованиями по обеспечению радиационной безопасности» Республики Казахстан такие материалы, в частности, грунты относятся к низкоактивным отходам (УСАА от 10 до 100 Бк/кг) [2].

В северо-восточном направлении от карты №2 даже на расстоянии 2 км от нее УСАА превышает фон. Однако, рекультивация земель в санитарно-защитной

зоне и за ее пределами в настоящее время бесполезна, так как при ветровой эрозии осушенных хвостов на испарительной карте и карте №1, а в перспективе и на карте №2, рекультивированные земли будут загрязняться радионуклидами.

На основании измерений нами были составлены графики удельной суммарной альфа-активности радионуклидов (УСАА) в урановых хвостах и почве и рассчитаны уравнения корреляции. Результаты представлены на рисунках 1, 2, 3.

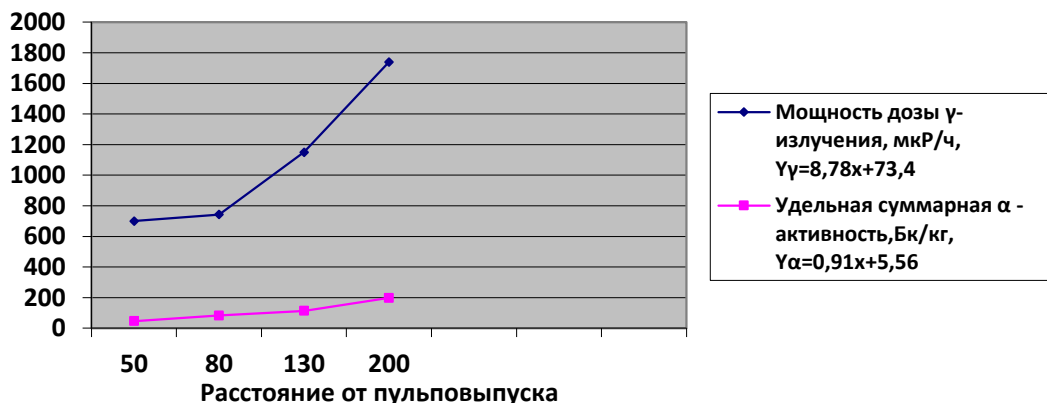


Рис. 1. Удельная суммарная альфа-активность на южном участке карты № 1

Из диаграммы рисунка 1 видно, что на южном участке карты №1 УСАА хвостов составляет от 46,9 до 198,2 Бк/кг. Установлена очень тесная корреляционная зависимость дозы  $\alpha$ -излучения и расстояния от пульповыпуска. Коэффициент корреляции  $r$  составил 0,99 [4].

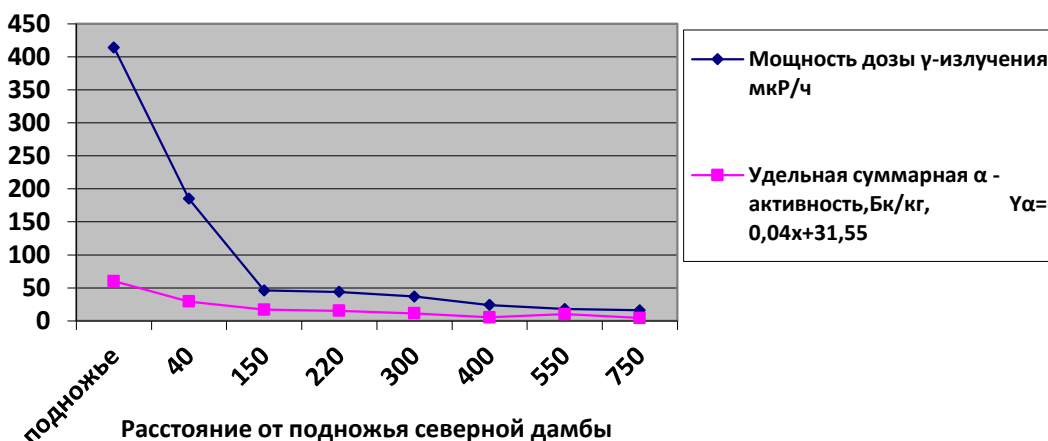


Рис. 2. Удельная суммарная альфа-активность в санитарно-защитной зоне севернее карты 1

Значение УСАА в санитарно-защитной зоне севернее карты 1 уменьшалось в пределах от 60,1 до 4,4 Бк/кг. Корреляционный анализ показал, что за пределами СЗЗ показатели будут близки к фоновому значению. Установлена тесная обратная корреляционная зависимость.

Показатель мощности дозы  $\gamma$ -излучения снижался более интенсивно и колебался от 414 до 16 мкР/ч.

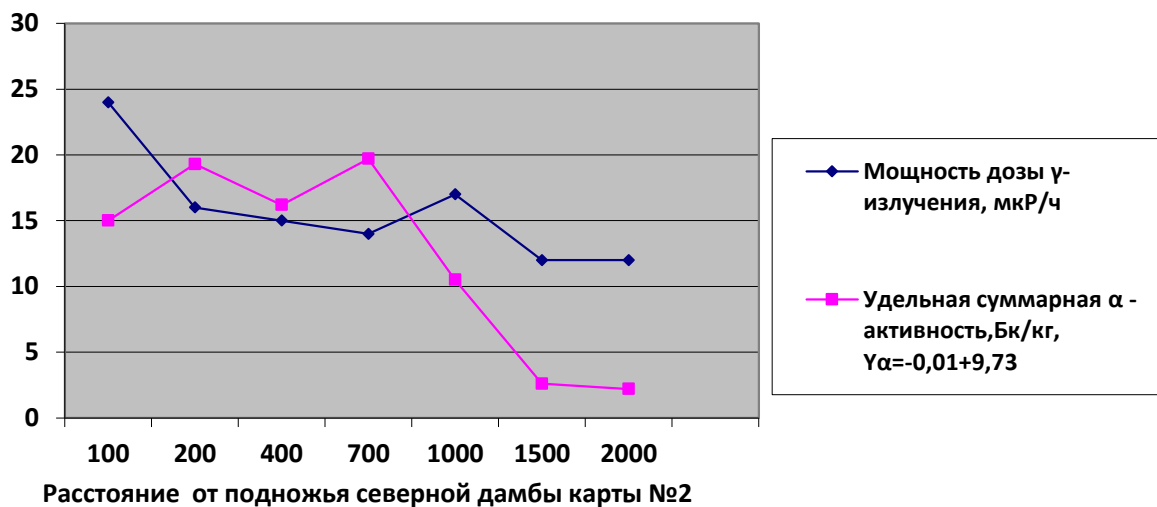


Рис. 3. Удельная суммарная альфа-активность на северно-восточном участке карты 2

На рисунках 1, 2, 3 показаны величины отношений, определенных в пробах почв УСАА, и концентраций элементов к их фоновым значениям. С учетом существующей геохимической аномалии, обусловленной наличием в рассматриваемом районе месторождений золота и урана, за фоновые значения были приняты следующие величины: УСАА=0,85 Бк/кг; As=10 мг/кг; Mo=20 мг/кг [5].

Как видно из приведенных данных, максимальными концентрациями загрязняющих веществ характеризуется северо-восточная часть границы санитарно-защитной зоны. Здесь величина УСАА фиксируется в пределах от 2 до 5,5 фонов, концентрация мышьяка от 30 до 1035 мг/кг (3-103 фона), молибдена от 25 до 691 мг/кг (1,2-34 фона).

Результаты анализа «глубоких» проб подтвердили распространение загрязнения в северо-восточном направлении по Сулукамысскому тальвегу: УСАА почв составляют 0,72-1,92 Бк/кг, при средней величине равной 1,3 Бк/кг; концентрации мышьяка в почве варьируют от 15 до 510 мг/кг, при среднем значении 125 мг/кг; концентрации молибдена – от 22 до 246 мг/кг, в среднем – 62 мг/кг.

Анализ приведенных графиков показывает, что около 3 км<sup>2</sup> в пределах санитарно-защитной зоны загрязнены по величине УСАА и другим химическим веществам и требуют проведения рекультивационных работ [6].

Формирование зоны загрязнения, выходящей за пределы СЗЗ, обусловленного стоком фильтрующихся вод по Сулукамысскому тальвегу, происходило до устройства дренажной завесы в 1985 году.

Был произведен отбор поверхностных проб почв (глубиной до 3 см) в пикетах по периметру санитарно-защитной зоны хвостохранилища. Содержание загрязняющих веществ в почве на северной, южной и восточной границе санитарно-защитной зоны хвостохранилища приведено в таблице 3.

Таблица 3. Содержание загрязняющих веществ в почве на границе СЗЗ, 2008 г.

| Номер пикета     | УСАА, Бк/кг | As, мг/кг | Mo, мг/кг |
|------------------|-------------|-----------|-----------|
| Северная граница |             |           |           |
| 1                | 1,22        | -         | 24,5      |
| 2                | 1,76        | -         | 23,8      |
| 3                | 2,1         | -         | 24,6      |
| 4                | 1,79        | -         | 35,6      |
| 5                | 2,4         | 36,6      | 45,0      |
| 6                | 2,53        | 26,0      | 40,6      |
| 7                | 2,84        | 35,1      | 30,6      |
| 8                | 4,88        | 103,0     | 41,9      |
| 9                | 5,86        | 638,0     | 231,3     |
| 10               | 2,1         | 201,0     | 75,0      |
| 11               | 2,0         | 223,0     | 73,1      |
| 12               | 3,13        | 24,9      | 36,3      |
| 13               | 2,3         | 17,1      | 25,6      |
| 14               | 3,11        | 42,7      | 29,4      |
| 15               | 1,84        | 13,7      | 24,4      |
| 16               | 2,41        | 20,4      | 28,1      |
| 17               | 1,42        | 13,2      | 35,6      |
| 18               | 1,51        | 11,2      | 81,9      |
| 19               | 2,01        | 10,4      | 33,1      |
| 20               | 1,57        | 8,0       | 44,4      |
| 21               | 1,79        | 59,0      | 48,8      |
| 22               | 1,29        | 131,0     | 48,8      |
| 23               | 1,09        | 6,9       | 25,0      |
| 24               | 1,18        | 6,7       | 23,8      |
| 25               | 0,89        | 9,0       | 20,0      |
| Южная граница    |             |           |           |
| 26               | 0,5         | 10,6      | 24,2      |
| 27               | 0,75        | 7,1       | 32,6      |
| 28               | 0,78        | 5,6       | 25,0      |
| 29               | 0,58        | 6,9       | 20,5      |
| 30               | 0,79        | 9,3       | 11,5      |
| 31               | 0,48        | 9,6       | 15,0      |
| 32               | 0,83        | 13,4      | 18,0      |
| 33               | 0,73        | 9,0       | 15,0      |
| 67               | 0,57        | 17,6      | 15,0      |
| 68               | 0,82        | 46,2      | 16,3      |
| 69               | 0,66        | 52,6      | 15,0      |
| 70               | 0,51        | 35,6      | 15,0      |
| 71               | 0,54        | 53,3      | 14,5      |

Данные таблицы 3 подтверждают распространение загрязнения почв в северном и северо-восточном направлении. Максимальная величина УСАА на северной границе СЗЗ составляет 4,88 Бк/кг, при среднем значении – 1,2 Бк/кг; максимальная концентрация мышьяка составляет 600 мг/кг, а молибдена – 230 мг/кг.

Сравнение концентраций загрязняющих веществ, полученных в 2017 г., с аналогичными показателями, полученными в 2008 г., показывает, что уровень загрязнения почвы в СЗЗ хвостохранилища понизился [7].

Такое снижение концентраций свидетельствует о прекращении загрязнения почвы со стороны хвостохранилища. Снижение концентраций загрязняющих веществ в почвах происходит за счет вымывания загрязнения из почвы талыми водами и атмосферными осадками и переноса их на более далекие расстояния по Сулукамысскому тальвегу [8].

### Выводы

В этой статье мы представили основные загрязняющие отходы производства Степногорского гидрометаллургического завода. Выявлены ореолы распространения радионуклидов через почву и атмосферу

Исследования радиационной обстановки территорий вблизи промышленных объектов Степногорского гидрометаллургического завода показали неравномерный характер загрязнения почвы. Радионуклидами-загрязнителями при этом чаще всего являются уран  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и его изотопы  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{230}\text{Th}$ , из других химических элементов регистрировались Co, Si, Zn, Cd, As, Ni, Mo, As.

### Литература:

1. *Экологическая обстановка Северо-Казахстанской области// Информационный экологический бюллетень. – Алматы: Издание Министерства экологии и природных ресурсов, 1998. – №1. – С. 10.*
2. *Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. – М.: Высшая школа, 2004. – 530 с.*
3. *Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.6.1169-02.*
4. *Шойхет Я.Н. Иммунная система населения, подвергшегося радиационному воздействию на следе ядерного взрыва / Я.Н. Шойхет, В.А. Козлов, В.И. Коненков. – Барнаул: НИИ региональных медико-экологических проблем, 2000. – 179 с.*
5. *Шарипов С.М., Сейсебаев А.Т., Шартыхбаев М.Ж. Проект нормативов предельно-допустимых выбросов радионуклидов ГМЗ Степногорского горно-химического комбината. – Астана, 2005. – С. 8-32.*
6. *Ernst W.H.O. //Biomarkers: A Pragmatic Basis for Remediation of Severe Pollution in Eastern Europe/ Ed: Peakal D.B., Walker C.H., Migula P. Kluwer Academic Publishers, and Dordrecht. – 1999. – P. 135-151.*
7. *Степногорский горно химический комбинат. Проект рекультивации испарительной карты хвостохранилища ГМЗ методом гидронамыва нерадиоактивных отходов медно-молибденового производства. Этап 4. Радиационные обследования хвостохранилища. Разработка рекомендаций по радиационной безопасности (арх.№ ПТ-71208). – Ташкент, фонды O'zGEOTEXLITI, 2017.*
8. *Landa E.R. Isolation of uranium mill tailings and their component radionuclides from the biosphere // US Geol. Surv. Circ. – 1980. – Vol. 814. – N 11. – P. 1424.*

Мақалада Степногорск қаласыныңда ораласқан Тау метал комбинатының (СТМК) өндірістік қалдықтарымен қоршаған ортаға ең үлкен қауіп радионуклидтер болып табылады. Топырақ түрлері және олардың тұрақтылығы мен радионуклидтердің жинақталу қабілеті қарастырылаған. Сонымен қатар, зиянды радиоизотоптардың топырақ пен атмосфера арқылы таралуы және осы заттардың шекті рұқсат етілетін концентрациясы (ШРК) оларды сақтау көздерінен төмендейді және бұл әртүрлі топырақтардың осы зиянды заттардың әртүрлі өткізгіштігіне байланысты. Мақалада сондай-ақ СТМК қалдықтарының топырақ пен өсімдіктерге әсерін азайту мүмкіндіктері, сондай-ақ қауіпті радиациялық инфекция көзіжанындағы атмосфера қарастырылған.



**Түйін сөздер:** радиоэкологиялық жағдай, радионуклидтер, радиоактивті элементтер, қалдықтар қоймасы.

*The article discusses issues related to the production waste of Stepnogorsk Mining and Metallurgical Combine (SMMC). The greatest danger to the environment is represented by radionuclides. Soil types and their resistance and ability to accumulate radionuclides are considered. It is also noted that harmful radioisotopes spread through the soil and atmosphere and the maximum permissible concentration (MPC) of these substances decreases from the source of their storage and this is due to the fact that different soils have different conductivity of these harmful substances. The article also identifies opportunities to reduce the impact of SMMC wastes on soil and vegetation, as well as the atmosphere near a dangerous source of radiation infection.*

**Key words:** radioecological situation, radionuclides, radioactive elements, tailings.