

Хвостовые отложения — источник экологических проблем

¹**БРЖАНОВ Рашид Темержанович**, к.т.н., доцент, brzhanov@mail.ru,

²**СОФРОНОВА Людмила Ивановна**, к.б.н., старший преподаватель, sofronova_lyda@mail.ru,

¹Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Казахстан, 130000, Актау, 32 мкр-н,

²Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Казахстан, 020000, Кокшетау, ул. Абая, 76,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель статьи – изучение особенностей хвостохранилища как источника экологических проблем. Неотъемлемой частью технологической цепочки при переработке урановых руд является хвостовое хозяйство, предназначенное для организационного удаления и длительного хранения хвостов. Вокруг хвостохранилища имеются 170 режимно-наблюдательных скважин для комплексного наблюдения влияния хвостохранилища на подземные воды. Сточные воды сбрасываются с промышленной площадки в русло реки Аксу после предварительной комплексной биологической очистки на санитарных очистных сооружениях. Проводился анализ проб воды из самого хвостохранилища и из поверхностных водоемов в районе санитарно-защитной зоны Степногорского гидрометаллургического завода. В статье определён состав загрязняющих веществ в прудковой воде хвостохранилища и поверхностных водах водоемов естественного и техногенного происхождения, находящихся вблизи Степногорского гидрометаллургического завода. Установлено, что в каждом литре желеобразной «пульпы», помимо карбонатов, мышьяка, молибдена, фосфора и других химических элементов, содержится до 1 г активного урана, а также радия и тория. Дальнейшее распространение ореола загрязнения прекращено благодаря существующей дренажной системе.

Ключевые слова: экологическое состояние, хвостохранилище, хвостовая пульпа, предельно допустимая концентрация, радиоактивность, радиоактивная безопасность.

Введение

По данным Всемирной ядерной ассоциации, в Казахстане сосредоточена примерно пятая часть мировых запасов урана. Общие ресурсы урана порядка 1,5 млн тонн, из них около 1,1 млн тонн можно добывать методом подземного выщелачивания.

В 2009 году Казахстан вышел на первое место в мире по добыче урана (добыто 13500 тонн). Широкомасштабные горнодобывающие работы, которые проводятся в Казахстане в течение более чем полувекового периода, оказывают губительное воздействие на окружающую среду и требуют постоянного контроля за её состоянием и реабилитации территории уранодобывающих и ураноперерабатывающих предприятий.

При добыче руд с содержанием урана 0,1% для получения 1 т оксида урана U_3O_8 необходимо извлечь из недр примерно 1000 т руды. Основными видами производственных отходов являются хвосты переработки урановых руд. Хвосты переработки руд гидротранспортом транспортируются на хвостохранилища, на которых производится их складирование. Одной из главных задач обеспечения радиоактивной безопасности является

захоронение радиоактивных отходов, которое позволяет значительно улучшить радиационную обстановку в районе расположения хвостохранилища, обусловленную выносом радионуклидов с его поверхности.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды порождает множество проблем: экологические, медико-биологические, социально-экономические и др. Решение большинства из них зависит от правильной оценки радиационного воздействия на компоненты окружающей среды и, соответственно, на человека.

Радиация в больших дозах приводит к поражению живой клетки, тканей, в малых – вызывает раковые явления и способствует генетическим изменениям.

Методы и материалы

Экологическое состояние местных водоемов. На Степногорском гидрометаллургическом заводе (ГМЗ) перерабатываются урановые и медно-молибденовые руды. Основными видами производственных отходов являются хвосты переработки этих руд, которые гидротранспортом подаются на хвостохранилище, где производится их склади-

рование. Хвостохранилище состоит из трёх карт. Карта 1: площадь 162 га, срок сдачи в эксплуатацию 1968 г.; карта 2, соответственно – 270 га, 1976 г. и испарительная карта 1982 г. Карта 1 в настоящее время выведена из эксплуатации.

Хвостовая пульпа уранового и медно-молибденового производства, в настоящее время складывается на карте № 2. Соотношение твёрдой и жидкой части (Т:Ж) в объединенной хвостовой пульпе составляет 1:5,7. Общий объем пульпы, подаваемой в хвостохранилище с 2010 г., составлял 4,33 млн м³, включая 4,06 млн м³ жидкой фазы (воды).

Твердая часть хвостовой пульпы осаждается, образуя хвостовые отложения (пляж), а жидкая фаза, отстаиваясь, образует прудок. Площадь прудка на карте № 2 составляет 191 га.

Химический состав прудковой воды во многом определен химическим составом перерабатываемых руд и растворимостью слагающих их веществ.

Результаты исследований

Исследованиями установлено, что основными загрязнителями, которые оказывают воздействие на поверхностные и подземные воды, являются мышьяк, молибден, уран и радий. Содержание этих загрязняющих веществ в прудковой воде хвостохранилища приведено в таблице 1.

Данные таблицы показывают, что основными загрязняющими веществами являются радий, молибден и мышьяк, фактическое содержание которых превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в десятки раз.

Осветленную воду из прудка карты №2 плавучей насосной станцией оборотного водоснабжения перекачивают в испарительную карту [1].

Площадь прудка на испарительной карте составляет 170,7 га. Химический состав воды в прудке испарительной карты идентичен химическому составу воды прудка карты №2.

На карте №1 хвостохранилища также существует прудок, но так как сброс пульпы на карту прекращен, то его площадь постепенно сокращается и подпитывается только за счет поступления атмосферных осадков. Площадь прудка карты №1 составляет 25 га.

Наиболее значительными естественными водоемами являются озера Маньбай и Сулукамыс.

Открытые водоемы как составная часть ре-

гиональной экосистемы служат своеобразным конденсатором естественных и искусственных радионуклидов. Основным депо радионуклидов являются донные отложения. Именно этот компонент водной экосистемы определяет механизм и скорость перераспределения радионуклидов [2].

Нами проводился анализ проб воды из самого хвостохранилища и из поверхностных водоемов в районе промплощадки ГМЗ в направлении Маньбайского и Сулукамысского тальвегов. Максимальные значения загрязняющих веществ в этих водоемах и водотоках приведены в таблице 2.

Для оценки степени загрязненности водоемов использовали значения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в питьевой воде, которые составляют: мышьяк – 0,05 мг/кг, молибден – 0,25 мг/кг, сульфат-ион – 500 мг/кг; радионуклиды: уран (238) – 0,25 мг/кг, радий – 0,5 Бк/кг.

Состав воды в тальвеге Маньбайского направления преимущественно сульфатно-хлоридный, что является типичным для водоемов Северного Казахстана, а по значению рН соответствует классу нейтральных и слабощелочных вод.

В водоемах и водотоках Маньбайского направления максимальные значения вредных веществ составляли:

- по урану – 1,2 мг/л, или 0,67 ПДК (для водоемов хозяйственно-бытового назначения ПДК=1,8 мг/л);

- по мышьяку – 2,27 мг/л, или 45,4 ПДК (для водоемов хозяйственно-бытового назначения ПДК=0,05 мг/л);

- по молибдену – 1,91 мг/л, или 7,6 ПДК (для водоемов хозяйственно-бытового назначения ПДК=0,25 мг/л).

Таким образом, анализ данных показал, что в направлении озера Маньбай в воде наблюдается некоторое повышение концентрации урана и молибдена. Это связано с переносом растворимых солей урана и молибдена тальвыми водами ниже по тальвегу и их концентрированию в воде и в илах котловины озера Маньбай.

Водоемы тальвега Сулукамысского направления представлены преимущественно сульфатными и хлоридно-сульфатными водами и относятся к классу нейтральных и слабощелочных.

Максимальные содержания загрязняющих веществ в воде водоемов тальвега Сулукамысского направления составляли: по мышьяку – 41,8 мг/л

Таблица 1 – Содержание загрязняющих веществ в прудовой воде хвостохранилища, 2017-2019 гг.

Вещества	ПДК	Карта 1	Карта 2	Испарительная карта
Уран (мг/л)	0,25	0,04-0,06	0,04-0,06	0,05-0,10
Радий (Бк/л)	0,5	0,59-1,70	1,11-2,92	0,67-0,74
Молибден (мг/л)	0,25	29,0-44,5	45,5-51,0	58,5-69,3
Мышьяк (мг/л)	0,05	8,6-13,0	16,2-18,4	32,4-49,2

Таблица 2 – Химический состав воды поверхностных водоемов, 2017-2019 гг.

№ п/п	Местоположение точки отбора пробы	ΣАα, Бк/л	U, мг/л	Ra, Бк/л	Mo, мг/л	As, мг/л
Маньбайский тальвег						
1	200 м к вост. от карты 2	4,9	0,19	0,13	13,57	1,47
2	400 м к вост. от карты 2	11,3	0,08	0,18	0,90	0,23
3	500 м к с-в от т.2	4,0	0,11	0,27	8,82	1,49
4	Водоем в карьере	3,5	0,11	0,22	<0,1	0,08
5	С-з сторона грейдера	7,8	0,37	0,06	0,92	0,14
6	С-в сторона грейдера	8,7	0,35	0,11	0,64	0,09
7	Озеро Маньбай	8,0	0,27	0,06	0,77	0,07
Сулукамысский тальвег						
8	Оз. Сулукамыс, юг	0,5	<0,04	0,10	2,49	1,35
9	Оз. Сулукамыс, с-з	2,6	0,17	0,09	1,92	0,98
10	Карьер на сопке	0,5	<0,04	0,13	0,12	<0,02
11	400 м к сев. от дамбы	21,6	0,44	0,48	8,38	2,10
Промышленная зона ГМЗ						
12	Карьер севернее ПНС	0,06	0,09	0,09	0,11	0,15
13	Бывший ш. водоотлив	2,6	0,15	0,19	0,30	0,06
14	100 м к зап. от ГМЗ	7,4	0,36	0,21	2,3	0,48
15	Около ж/д весов ГМЗ	134	5,1	0,13	6,05	0,41
16	С-з угол ГМЗ	10,8	0,44	-	1,50	0,28
17	Водоем к вост. от ГМЗ	11,0	0,88	0,05	1,08	0,11
	Норматив НРБ-99, СП2.6.1.758-99	0,1	1,8	0,5	0,25	0,05

(856 ПДК); по молибдену – 49,0 мг/л (196 ПДК).

Снижение концентрации токсических веществ в поверхностных водоемах происходит за счет перехвата фильтрационных вод из карт хвостохранилища дренажными системами и насосными станциями. Кроме этого, идет процесс вымывания паводковыми и дождевыми водами загрязняющих веществ (U, As и Mo) с поверхности и их вынос в наиболее пониженные формы рельефа.

Сравнение приведенных выше данных с результатами прошлых лет показывает, что первые укладываются в диапазон минимальных – максимальных значений многолетних наблюдений. Этот факт говорит об отсутствии влияния хвостохранилища на поверхностные водоемы после устройства в 1985 году дренажной системы.

В последние годы заметно возросли концентрации загрязняющих веществ в прудковой воде карты 1 и испарительной карты, что связано с уменьшением объема воды за счет испарения. Анализируя в целом результаты наблюдений, можно отметить следующее:

- концентрации основных загрязняющих веществ, кроме урана, значительно выше в водоемах Сулукамысского тальвега, чем Маньбайского. Это связано с тем, что до устройства дренажной систе-

мы фильтрующиеся из хвостохранилища воды распространялись в основном по Сулукамысскому тальвегу;

- на фоне больших разбросов значений, связанных преимущественно с различной степенью испарения водоемов, трудно установить зависимость изменения (уменьшения) содержания загрязняющих веществ во времени. Водоемы Сулукамысского тальвега, неоднократно полностью высыхая в засушливые годы, а затем заполняясь в весенние периоды, тем не менее, постоянно характеризуются высокими концентрациями загрязняющих веществ;

- из всех водоемов Маньбайского тальвега повышенные содержания загрязняющих веществ, кроме урана, отмечаются лишь в трех-четырех, расположенных наиболее близко к хвостохранилищу. Далее ниже по тальвегу во всех водоемах одинаково низкие концентрации загрязняющих веществ, кроме урана, содержание которого здесь несколько повышено – до 0,6-0,7 мг/кг, что связано с ранее действовавшим сбросом шахтных вод [3].

Также для проведения радиологического обследования открытых водоемов на территории бывших уранодобывающих предприятий и населенных пунктов были выбраны 6 водоемов. Из них 4 расположены на территории уранодобываю-

щих предприятий (река Кутунгуз, отработанный карьер поселка Шантобе, водоемы, расположенные возле хвостохранилища ГМЗ). Два водоема были выбраны для сравнения, которые располагаются за пределами хвостохранилища: река Аксу, пруд у поселка Аксу.

Основной водоток района – река Аксу – протекает более чем в 10 км южнее площадки хвостохранилища и, с учетом направления потока подземных вод (северо-восточное), оказывается вне зоны влияния хвостохранилища.

В реке Кутунгуз пробы отобраны в 3-х точках: № 1 – 500 м после сброса рудника, который находится в верхней части реки, № 2 – 500 м после первой точки, № 3 – 500 м от предыдущей точки.

Шахтно-рудничная вода проходит через очистные сооружения и вливается в реку Кутунгуз. От реки Кутунгуз на расстоянии 150-200 м находится поселок Кронштадтка, жители которого используют воду данной реки для водопоя скота, полива огородов и для хозяйственных нужд. В этой точке суммарная альфа- и бета-активность остается высокой.

В отработанном карьере и стоячем водоеме у

хвостохранилища (точка N1) удельная активность ²²⁶Ra высокая и составляет соответственно 205 и 236 Бк/кг. В реке Аксу и пруде у поселка Аксу концентрация ²²⁶Ra незначительная и составляет 14 Бк/кг и 35 Бк/кг и 35 Бк/кг соответственно.

Удельная активность ²³²Th в иле отработанного карьера при сравнении с другими водоемами немного выше и составляет 112 Бк/кг.

Данные по содержанию радионуклидов и суммарной альфа-бета-активности в донных отложениях представлены в таблице 3.

По данным ГМЗ ТОО Степногорский горно-химический комбинат, в воде верхней части реки Кутунгуз до сброса шахтно-рудничной воды удельная активность ²³⁸U (уран) составляет 0,27 Бк/л, а в 500 метрах после сброса 3,8 Бк/л.

Результаты наших исследований свидетельствуют, что концентрация урана в воде после сброса в реку Кутунгуз не понижается, а остается высокой.

Так, в точках №№ 1,2,3 реки Кутунгуз удельная активность естественного урана составляет 14,3 Бк/л 10,7 Бк/л, 15,6 Бк/л соответственно, данные приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Содержание радионуклидов и суммарной альфа-, бета-активности в донных отложениях (слой 0-15 см) сухой массы, 2010-2015 гг.

Место отбора проб	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				Суммарная альфа-активность, Бк/кг	Суммарная бета-активность, Бк/кг
	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th		
Пункты на территории уранодобывающих месторождений						
Река Кутунгуз точка N1	257±79	10±7	65±23	56±14	5775	2955
Река Кутунгуз точка N2	327±93	9±7	61±15	51±11	2218	1550
Река Кутунгуз точка N3	303±83	8±5	10±10	40±9	2808	1145
Отработанный карьер, п. Шантобе	339±16	40±5	205±10	112±50	5625	2580
Нормативные значения	-	-	-	-	0,1	1,0

Таблица 4 – Результаты исследования проб вод открытых водоемов, 2015-2017 гг.

Место отбора проб	Концентрация естественного урана, Бк/л	Суммарная альфа-активность, Бк/л	Суммарная бета-активность, Бк/л
Река Кутунгуз 500 м до сброса	0,27	-	-
Река Кутунгуз 500 м после сброса (данные СЭС ГМЗ)	3,8		
Река Кутунгуз точка N1	14,3	7,6	1,03
Река Кутунгуз точка N2	10,7	8,7	1,10
Река Кутунгуз точка N3	15,6	12,04	0,91
Отработанный карьер п. Шантобе	4,3	1,65	0,71
Река Аксу	1,0	0,21	0,39
Пруд у поселка Аксу	0,5	1,21	0,39
Норма	3,1	0,1	1,0

По полученным данным можно предположить, что существенный вклад в загрязнение реки радиоактивными веществами дает вода, поступающая из рудника, который находится в верхней части дельты.

В отработанном карьере, где удельная активность естественного урана в воде составляет 4,3 Бк/л, вода используется для полива огородов.

В реке Аксу и в пруде у поселка Аксу содержание естественного урана незначительно и составляет, соответственно, 1,0 Бк/л и 0,5 Бк/л.

По сравнению с другими водоемами, в реке Кутунгуз суммарная альфа-активность высокая и находится в пределах от 7,6 Бк/л до 12,04 Бк/л. Суммарная бета-активность в водоеме возле хвостохранилища составляет 3,96 Бк/л, 2,14 Бк/л.

Суммарная альфа-активность всех водных проб и суммарная бета-активность проб стоячих водоемов возле хвостохранилища превышает нормативные значения для питьевой воды (для альфа – 0,1 Бк/л, для бета – 1,0 Бк/л, урана 238-3,1 Бк/л), хотя вода открытых водоемов не нормируется по радиационным показателям.

В целом, сравнительный анализ радионуклидного загрязнения водоемов показал, что водоемы вблизи уранодобывающих предприятий и хвостохранилища загрязнены радионуклидами [4, 5].

Заключение

Для перехвата вод, профильтровавшихся через дамбы и под дамбы, с северной и восточной сторон хвостохранилища (по уклону рельефа) сооружена система защитного дренажа.

Для сбора и перепуска к насосным станциям поверхностных вод с территорий, непосредственно примыкающих к сухому откосу дамб, сооружена система поверхностного водосбора. Для предотвращения пыления обсыхающих пляжей проектом предусматривается содержание намытой твердой фазы пульпы под затоплением или в увлажненном состоянии [6].

На основании материалов инженерно-геологических, гидрогеологических и проектно-изыскательских работ установлено, что граница загрязнения грунтовых вод подземным стоком шириной 1 км, существовавшим до введения в строй дренажной системы, не выходит за пределы СЗЗ и не достигает урочищ Маныбай и Сулукамыс.

Область загрязнения подземных вод фильтратом жидкой фазы хвостов, обусловленная поверхностным стоком талых и дождевых вод, выявлена в северо-восточном направлении на расстоянии 100-700 м от ограждающей дамбы хвостохранилища.

Установлено, что дальнейшее распространение ореола загрязнения прекращено благодаря существующей дренажной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. – М.: Высшая школа, 2004. – 530 с.
2. Петер Стегнар. Материалы электронной дискуссии «Урановые хвостохранилища: местные проблемы, региональные последствия, глобальные решения». (30.04.2009).
3. Amesetal L.L., McGarrach J.E., Walker B.A. Sorption of uranium and radium by biotite, muscovite and phlogopite // Clay and Clay Miner – 2003. – Vol. 31, N 5. – P. 343-351.
4. Ernst W.H.O. // Ecotoxicology. Ecological Fundamentals, Chemical Exposure and Biological Effects / Ed: Schuurmann G., Markert B. Wiley and Sons Inc. – Heidelberg, 1999. – P. 587-620.
5. Oatway W.B., Mobbs S.F. Methodology for estimating the doses to members of the public from the future use of land previously contaminated with radioactivity. – Chilton, 2003. – 145 p.
6. 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.

Қалдықтар экологиялық проблемалардың көзі болып табылады

¹**БРЖАНОВ Рашит Темержанұлы**, т.ғ.к., доцент, brzhanov@mail.ru,

²**СОФРОНОВА Людмила Ивановна**, б.ғ.к., аға оқытушы, sofronova_lyda@mail.ru,

¹Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Қазақстан, 130000, Ақтау, 32 шағын аудан,

²Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Қазақстан, 020000, Көкшетау, Абай көш., 76,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – экологиялық проблемалардың көзі ретіндегі қоқыс үйіндісінің ерекшеліктерін зерттеу. Уран кендерін қайта өңдеу кезіндегі технологиялық тізбектің ажырамас бөлігі қалдықтарды ұйымдастырылған түрде алып тастауға және ұзақ уақыт сақтауға арналған қалдық шаруашылығы болып табылады. Қалдық қоймасының айналасында қалдық қоймасының жерасты суларына әсерін кешенді бақылауға арналған 170 режимдік-бақылау ұңғымалары бар. Сарқынды сулар өнеркәсіптік алаңнан Ақсу өзенінің арнасына санитариялық тазарту құрылыстарындағы алдын ала кешенді биологиялық тазартудан кейін ағызылады. Степногорск гидрометаллургиялық зауытының санитарлық-қорғау аймағы ауданындағы қалдық

қойманың өзінен және жер бетіндегі су қоймаларынан су сынамаларына талдау жүргізілді. Мақалада Степногорск гидрометаллургиялық зауытына жақын орналасқан қалдық қоймасының тоған суындағы және табиғи және техногендік шығу тегі бар су қоймаларының жерүсті суларындағы ластаушы заттардың құрамы анықталған. Карбонаттардан, күшәләдән, молибденнен, фосфордан және химиялық элементтерден басқа, тоңба тәрізді «целлюлозаның» әр литрінде 1 г дейін белсенді уран, сондай-ақ, радий мен торий бар екендігі анықталды. Қолданыстағы кәріз жүйесінің арқасында ластанудың одан әрі таралуы тоқтатылды.

Кілт сөздер: экологиялық жағдайы, қалдық қоймасы, қалдық қойыртпағы, шекті рұқсат етілген шоғырлануы, радиобелсенділігі, радиобелсенділік қауіпсіздігі.

Tailings as a Source of Environmental Problems

¹*BRZHANOV Rashit, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, brzhanov@mail.ru,

²SOFRONOVA Lyudmila, Cand. Biol. Sci., Senior Lecturer, sofronova_lyda@mail.ru,

¹Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Kazakhstan, 130000, Aktau, microdistrict 32,

²Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kazakhstan, 020000, Kokshetau, Abay str., 76,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the article is to study the features of the tailing dump as a source of environmental problems. An integral part of the technological chain in the processing of uranium ores is the tailings storage facility intended for organizational disposal and long-term storage of tailings. Around the tailing dump there are 170 mode observation wells for complex observation of the tailing dump impact on groundwater. Wastewater is discharged from the industrial site into the bed of the Aksu River after preliminary complex biological treatment at sanitary treatment facilities. The analysis of water samples from the tailing dump itself and from surface water bodies in the area of the sanitary protection zone of the Stepnogorsk hydrometallurgical plant was carried out. The article defines the composition of pollutants in the pond water of the tailing dump and in the surface waters of natural and anthropogenic reservoirs located near the Stepnogorsk hydrometallurgical plant. It was established that in addition to carbonates, arsenic, molybdenum, phosphorus and other chemical elements, each liter of jelly-like «pulp» contained up to 1 g of active uranium, as well as radium and thorium. The further spread of the pollution halo is stopped thanks to the existing drainage system.

Keywords: ecological state, tailing dump, tail slurry, maximum permissible concentration, radioactivity, radioactive safety.

REFERENCES

1. Yarmonenko S.P. Radiobiologiya cheloveka i zhivotnykh / S.P. Yarmonenko, A.A. Vainson. – M.: Vysshaya shkola, 2004. – 530 s.
2. Peter Stegnar. Materialy elektronnoi diskussii «Uranovye khvostokhranilishcha: mestnye problemy, regionalnye posledstviya, globalnye resheniya». (30.04.2009).
3. Amesetal L.L., McGarrach J.E., Walker B.A. Sorption of uranium and radium bybiotite, muscovite and phlogophite // Clay and Clay Miner – 2003. – Vol. 31, N 5. – P. 343-351.
4. Ernst W.H.O. // Ecotoxicology. Ecological Fundamentals, Chemical Exposure and Biological Effects / Ed: Schuurmann G., Markert B. Wiley and Sons Inc. – Heidelberg, 1999. – P. 587-620.
5. Oatway W.B., Mobbs S.F. Methodology for estimating the doses to members of the public from the future use of land previously contaminated with radioactivity. – Chilton, 2003. – 145 p.
6. Sharipov S.M., Seisebaev A.T., Shartykbaev M.Zh. Proekt normativov predelno dopustimyykh vybrosov radionuklidov GMZ Stepnogorskogo gorno-khimicheskogo kombinata. – Astana, 2005. – S. 8-32.