

УДК 502.12:622.234  
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-12-151-159

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Н. Жалгасулы, У.А. Бектибаев, А.А. Исмаилова*

*Аннотация.* Добыча урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) оказывает минимальное воздействие на окружающую среду по сравнению с классическими способами отработки месторождений. ПСВ урана не сопровождается образованием отвалов пород и хвостохранилищ, осушением подземных водоносных горизонтов и др. Однако в процессе ПСВ урана в подземные воды поступают выщелачивающие реагенты, а также продукты их взаимодействия с вмещающей породой. Необходимо контролировать распространение образующихся при ПСВ растворов. В связи со сложностью происходящих при выщелачивании физико-химических гидродинамических процессов целесообразно применять методы математического моделирования. Рассмотрены приоритетные направления поддержания экологической безопасности для горнодобывающих предприятий, ведущих добычу полезных ископаемых подземным, открытым способами и способом подземного скважинного выщелачивания.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность; горнодобывающие предприятия; рискообразующие факторы; окружающая среда; загрязнение; подземное выщелачивание; металлы.

---

## ПАЙДАЛУУ КЕНДЕРДИ ТАЗАЛООНУН ЭКОЛОГИЯЛЫК СТАНДАРТТАРЫ

*Н. Жалгасулы, У.А. Бектибаев, А.А. Исмаилова*

*Аннотация.* Жер астындагы скважиналык тазалоо методу менен уранды казып алуу кендерди иштетүүнүн классикалык ыкмаларына салыштырмалуу айлана-чөйрөгө минималдуу таасир этет. Уранды жер астынан скважина менен тазалоо тектердин калдыктары жана калдык сактоочу жайлардын пайда болушу, жер астындагы суулуу горизонтторду кургатуу ж. б. менен коштолбойт. Бирок уранды жер астынан скважиналык жууп-тазалоо процессинде тазалоочу реагенттер, ошондой эле алардын негизги тоо тектери менен өз ара аракеттенүү продуктылары жер астындагы сууларга түшөт. Жер астынан скважиналык жууп-тазалоодо пайда болгон эритмелердин таралышын контролдоо зарыл. Тазалоо учурунда болуп жаткан физикалык жана химиялык гидродинамикалык процесстердин татаалдыгына байланыштуу математикалык моделдөө ыкмаларын колдонуу максатка ылайыктуу. Макалада пайдалуу кендерди жер астында, ачык жана жеринде скважина менен жууп алуу жолу менен казып алуучу тоо-кен ишканалары үчүн экологиялык коопсуздукту сактоонун артыкчылыктуу багыттары каралат.

*Түйүндүү сөздөр:* экологиялык коопсуздук; тоо-кен ишканалары; тобокелдик факторлору; курчап турган чөйрө; булгануу; жер астындагы жууп салуу; металлдар.

---

## ENVIRONMENTAL STANDARDS FOR METALS LEACHING

*N. Zhalgasuly, U.A. Bektibaev, A.A. Ismailova*

*Abstract.* Uranium mining using borehole in-situ leaching (ISL) has minimal impact on the environment compared to classical mining methods. The recovery of uranium is not accompanied by the formation of rock dumps and tailings, drainage of underground aquifers, etc. However, during the process of recovery of uranium, leaching reagents, as well as the products of their interaction with the host rock, enter the groundwater. It is necessary to control the spread of solutions formed during ISL. Due to the complexity of the physical and chemical hydrodynamic processes occurring during leaching, it is advisable to use mathematical modeling methods. The article presents priority areas for maintaining environmental safety for mining enterprises that extract minerals using underground, open-pit and in-situ borehole leaching methods.

*Keywords:* environmental safety; mining enterprises; risk factors; environment; pollution; underground leaching; metals.

**Введение.** Экологическая безопасность техносферы характеризуется мерой допустимости техногенной нагрузки по условиям выживания организмов и их сообществ. Под техногенной нагрузкой здесь понимается степень изменения природной среды под воздействием горного производства. Причем, понятия техногенной нагрузки и экологической опасности сейчас практически не различаются между собой – предполагается, что чем больше техногенная нагрузка, тем выше экологическая опасность.

Важно также, чтобы оценки техногенной нагрузки и экологической опасности учитывали специфику отдельных природных сред (главным образом, воздуха, почвенного покрова и водной среды), технологические, территориальные и другие особенности воздействия на них, были методически сочетаемы для обеспечения возможности комплексирования показателей по группам природных сред и видам техногенных нагрузок [1].

Целью исследований является разработка научных основ стратегии управления экологическими рисками, т. е. обеспечение экологической безопасности при воздействии горного производства на природную среду, позволяющих повысить достоверность принимаемых решений.

В настоящее время мероприятия, направленные на обеспечение экологической безопасности, носят, в основном, эмпирический характер, научно не обоснованы. В них, как правило, приводятся результаты выявления рискобразующих факторов, влияющих на экологическую ситуацию для горнодобывающих предприятий, ведущих добычу полезных ископаемых подземным, открытым и способом подземного скважинного выщелачивания.

Поэтому именно определение параметров, их анализ и оценка позволят предвидеть нарушение окружающей среды при добыче полезных ископаемых, внедрять более эффективные технологии и осуществлять управление экологическими рисками.

Проблема максимального улучшения экологической ситуации и сведение к минимуму негативного воздействия горнодобывающих и других производств на окружающую среду путем разработки и последовательного выполнения стратегии управления экологическими рисками на самих предприятиях остается пока не решенной [2, 3].

**Материалы и методы исследования.** В процессе проведения горных работ почвенный и растительный покров подвержен механическими разрушениями территории, связанными с бурением скважин и строительством вспомогательных сооружений. Кроме того, возможно химическое загрязнение территории, связанное со спецификой способа добычи – подкисление или подщелачивание почв в результате воздействия на них химических реагентов, а также радиоактивное загрязнение. Однако все эти нарушения относительно легко устранимы.

При сернокислотном выщелачивании в продуктивный раствор переходят уран, большая часть первоначально находившихся в породе кальция и магния, до 10 % железа и около 5 % алюминия. В таких растворах фиксируются устойчивые содержания марганца (130–300 мг/л), магния (400–600 мг/л), алюминия (500–1500 мг/л), кальция (500–600 мг/л), железа (II) до 1000 мг/л, железа (III) до 450 мг/л, SiO<sub>2</sub>, радионуклидов и микроэлементов Zn, Cu, Ni, Se, Be, V, Co, Cr и т. д.

Медь относится к таким микроэлементам, которые в малых дозах необходимы человеку. Агентство по охране окружающей среды США установило для этого элемента ПДК в питьевой воде, равную 1,3 мг/л, это несколько больше, чем значение, принятое в Республике Казахстан (РК).

Как и медь, молибден также считается жизненно необходимым микроэлементом. Однако величина его ПДК в питьевой воде, рекомендуемая ВОЗ, значительно ниже действующей в РК, она составляет 0,070 мг/л. Агентство по охране окружающей среды США установило для молибдена еще более жесткий норматив – его ПДК в питьевой воде равна 0,040 мг/л [4].

Токсичное действие молибдена изучено недостаточно, известно, что он является активным микроэлементом, участвующим в тканевом дыхании, пуриновом, углеводном обмене. Молибдаты токсичнее, чем чистый молибден и сульфид молибдена.

Прогнозирование вероятного загрязнения подземных вод при осуществлении технологии подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) возможно при наличии:

- данных о коэффициенте пористости горных пород;
- вязкости выщелачивающего раствора;
- коэффициенте фильтрации раствора;
- температуре раствора;
- скорости течения пластовых вод и градиенте напора между рудоносными и смежными горизонтами.
- емкостных свойствах пород (реагентоемкость, сорбционная емкость).

При наличии всех этих данных можно рассчитать напор на закачных скважинах. Однако несмотря на предпринимаемые мероприятия по предохранению пластовых вод от загрязнения, даже при условии полного баланса выщелачивающих и продуктивных растворов, не может быть гарантий от потерь растворов. Потери растворов от растекания могут достигать значительных объемов, что приводит к повышению минерализации пластовых вод [5, 6].

Для количественной оценки риска, обусловленного появлением неканцерогенных эффектов при длительном поступлении загрязнителей с водой, используется индекс опасности  $HQ$  (hazard quotient), вычисляемый по формуле:

$$HQ = m/H_D,$$

где  $m$  – среднесуточная доза вещества, отнесенная к одному кг массы тела человека, мг/кг.сут;  $H_D$  – пороговая (или референтная) мощность дозы этого вещества, мг/кг.сут.

Если значение  $HQ$  не превышает 1, то риск возможных вредных эффектов неканцерогенного типа рассматривается как допустимый.

Величина  $T$  рассчитывается по формуле:

$$m=c \cdot v \cdot f \cdot t / P \cdot T,$$

где  $c$  – концентрация загрязняющего вещества, мг/л;  $v$  – скорость поступления в организм воды принята равной 2 л/сут.;  $f$  – частота воздействия, сут/год;  $t$  – длительность воздействия, годы;  $P$  – масса тела взрослого человека (принимается равным 70 кг);  $T$  – усредненное время воздействия для неканцерогенов принимается равным 30 годам.

В случае одновременного поступления в организм нескольких веществ одним и тем же путем (например, ингаляционным или пероральным), индекс опасности рассчитывается по формуле:

$$HQ_i = \sum_i HQ_i,$$

где  $HQ_i$  – индекс опасности  $i$ -го загрязнителя.

Критерием безопасности при одновременном воздействии нескольких веществ является выражение:  $HQ_i \leq 1$ .

**Результаты и обсуждение.** Авторами были рассчитаны значения индекса опасности при поступлении загрязнителей с питьевой водой с концентрациями, равными соответствующим величинам ПДК. Значения ПДК брали из документов. Использовали значения пороговой (референтной) мощности дозы при пероральном поступлении загрязнителей, содержащиеся в базе данных IRIS (Integrated Risk Information System) Агентства по окружающей среде США. В таблице 1 приведены значения ПДК в питьевой воде, пороговой (референтной) мощности дозы  $HD$  и индекса опасности  $HQ$ . Из представленных в таблице веществ, три – медь, мышьяк и молибден – характеризуются значениями индекса опасности, превышающим единицу. Наиболее опасен мышьяк, у которого величина  $HQ$  составляет 4,83. Это обусловлено значением ПДК мышьяка в воде (включая используемые для питья грунтовые воды) принятой равной 50 мг/л. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует 10 мг/л, очевидно, что при этом значении ПДК индекс опасности не превзойдет единицу. В 2002 году в Российской Федерации также было установлено значение ПДК мышьяка в воде, равное 10 мг/л, однако это распространяется лишь на воду, расфасованную в емкости.

Таблица 1 – Значения ПДК в питьевой воде, пороговой (референтной) мощности дозы  $H_D$  и индекса опасности  $HQ$

Вещество	ПДК мг/л	$H_D$ , мг/кг сут	$HQ$	Вещество	ПДК мг/л	$H_D$ , мг/кг сут	$HQ$
Барий	0,1	0,2	0,014	Нитраты	45	1,6	0,817
Бериллий	0,002	0,002	0,029	Свинец	0,03	0,0035	0,249
Бор	0,5	0,2	0,072	Селен	0,01	0,005	0,058
Кадмий	0,001	0,0005	0,058				
Марганец	0,5			Хлор. связ.	1,2		0,348
Медь	1,0	0,019	1,53				
Мышьяк	0,05	0,0003	4,83	Хром (VI)	0,05	0,003	0,483
Молибден	0,25	0,005	1,45	Цианиды	0,035	0,02	0,51
Никель	0,1	0,02	0,145	Цинк	5,0	0,3	0,483

Ранее нами было установлено, что основными факторами риска при добыче полезных ископаемых скважинным выщелачиванием является загрязнение грунтовых и подземных вод тяжелыми металлами и радионуклидами, которые определяются их «приоритетностью», «дозой» и «частностью». Приоритетность и доза определяется токсичностью воздействия тяжелых металлов и радионуклидов на живой организм и, в первую очередь, на человека, т. к. люди – самый ценный ресурс.

При значительном поступлении токсикантов в воду даже в концентрациях ниже предельно допустимых, риск может быть таким же. Основное нормативное требование к качеству воды – соблюдение установленных предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, т. е. группы экологических стандартов, оценивающих состояние окружающей среды в целом. ПДК примеси в воде – это такой нормативный показатель, который исключает неблагоприятное влияние на организм человека и или опосредованно на состояние здоровья настоящего и последующих поколений и не ухудшает гигиенические условия водопользования. Для характеристики чистоты водного объекта кроме ПДК используется лимитирующий показатель вредности, отражающий приоритетность требований к качеству воды. По каждому из признаков вредности находят пороговую (недействующую) концентрацию. Наименьшая из них с соответствующим признаком вредности принимается как ПДК. Критическим звеном всей экосистемы может оказаться тот или иной вид организмов (экологическая мишень), чувствительный к данному фактору. Этот вид и будет определять нагрузку на систему в целом.

Для поддержания экологической безопасности водоносных горизонтов авторами разработан способ реабилитации загрязненных вод с использованием природных сорбентов на месте залегания. В качестве природных сорбентов были исследованы бурый уголь, гумат натрия и бентонитовая глина. Закачанный в пласт сорбент связывает тяжелые металлы и радионуклиды в недиссоциирующие комплексы, которые оседают на геохимических барьерах и даже в растворимом виде не опасны для живых организмов, особенно это характерно для гуминовых соединений.

Гумат натрия, содержащийся в буром угле, обладая высокой реакционной способностью за счет большой удельной поверхности (280–620 м<sup>2</sup>/г), в силу неоднородности своей структуры и поливалентности взаимодействует с ионами тяжелых металлов и радионуклидами путем ионного обмена, поверхностной адсорбции, комплексообразования и коагуляции. Устойчивость образующихся металлоорганических комплексов зависит от pH, что связано с наличием фенолгидроксильных и карбоксильных групп и их реакции. Ионизация как карбоксильных, так и фенольных гидрогрупп протекает много ступенчато, в связи с этим реакционная способность гумата натрия в зависимости от реакции среды, различна. Так, например, количество групп – COOH, способных к обменной реакции с катионами при pH = 4,6, равна 219,7, а при pH = 8,2–378,5.

Следовательно, способность гумата натрия к ионному обмену возможна в широких пределах рН как при подкислении воды, что возможно при сернокислотном выщелачивании, так и при подщелачивании воды при бикарбонатном способе добычи урана.

Бентонитовая глина месторождения Шукурой представляет собой генетическую смесь монтмориллонита (65–75 %) и гидрослюды. Катионообменная способность монтмориллонита определяется суммой обменноспособных ионов натрия, кальция, магния, водорода и алюминия.

Основной минерал в бентонитовой глине имеет диоктаэдрическую структуру, является трехслойным, т. е. всего в решетке на два тетраэдрических кремнекислородных слоя приходится один алюмокислородно-гидроксильный октаэдрический слой. Между слоями в минерале имеется большое пространство, которое заполняется адсорбируемыми веществами. Кроме того, имеются полости с активными центрами, которые вступают в реакции ионного обмена.

Исследуемый бентонит обладает высокой дисперсностью, что определяет его развитую внешнюю поверхность. Удельная поверхность этой глины в среднем равна 125 м/г.

Исследование по повышению сорбционной способности угля проводили в двух направлениях: механоактивацией и термообработкой.

При измельчении вещества повышается запас свободной энергии, стимулируется эмиссия электронов и создается разность потенциалов, происходит нарушение сплошности материала и увеличивается свободная поверхность вещества.

При термообработке сорбентов наблюдается увеличение их суммарной пористости, что связано с выделением различных типов воды из межпакетных объемов и кристаллической структуры сорбента, а также легко разлагающихся компонентов.

В таблице 2 приведены данные по сорбции ионов тяжелых металлов и сульфатона бентонитовой глиной при соотношении 10:1 и бурым углем, измельченным до крупности частиц, имеющих радиус 14–70 мкм и пиролизированным углем (прокаленным при температуре 600 °С без доступа воздуха) при соотношении раствор : сорбент = 9:1.

Таблица 2 – Изменение концентрации ионов тяжелых металлов в растворе в зависимости от времени сорбции и природы сорбента

Вид сорбента, соотношение Т:Ж	Время сорбции, час	Содержание ионов в растворе, мг(л)			
		Fe	Cu	Zn	$\sum \text{SO}_4$
Механоактивированный бурый уголь	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	24,6	21,5	20,0	2760,0
	6	15,2	17,9	18,9	2850,0
	12	12,7	17,5	18,1	2775
	18	11,8	16,8	17,9	2682
	24	10,0	1,67	17,6	2555,0
Пиролизированный бурый уголь, 1:9	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	<0,01	<0,01	<0,01	851,0
	6	<0,01	<0,01	<0,01	753,0
	12	<0,01	<0,01	<0,01	730,0
	18	<0,01	<0,01	<0,01	715,0
	24	<0,01	<0,01	<0,01	702,0
Бентонитовая глина, 1:10	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	0,15	0,15	0,15	744,0
	6	<0,01	<0,01	<0,01	679,0
	12	<0,01	<0,01	<0,01	638,0
	18	<0,01	<0,01	<0,01	638,0
	24	<0,01	<0,01	<0,01	638,0

Как видно из результатов исследования, представленных в таблице 2, сорбционная активность угля, подвергнутого пиролизу, значительно выше по сравнению с механоактивированным углем. Высокая сорбционная активность наблюдается и при использовании в качестве сорбента бентонитовой глины.

Полученные результаты позволяют полагать, что для поддержания экологической безопасности подземных водоносных горизонтов в случае аварийной ситуации в эти горизонты можно закачивать исследованные сорбенты, а именно пиролизованный бурый уголь и бентонитовую глину.

При контакте испытанных сорбентов с растворами их кислотность снижается с  $\text{pH} = 1$  до  $\text{pH} = 7,0-8,0$ , наблюдается и снижение концентрации сульфат-иона при контакте пиролизованного угля и бентонитовой глины.

При контакте раствора, как видно из данных таблицы, с механоактивированным углем, наоборот концентрация сульфат-иона повышается, что обусловлено присутствием серосодержащих соединений различного состава в исходном продукте.

При составлении регламента по мониторингу в качестве аналога были учтены природоохранные мероприятия, проводящиеся на установке кучного выщелачивания, работающей на месторождении Стибнит (США, Невада). Так как эта установка находится в районе рек, являющихся нерестовыми для лососевых рыб и характеризующимися большим количеством атмосферных осадков, выпадающих в основном в весенне-летнее время, требования по охране окружающей среды здесь наиболее жесткие.

Природоохранные мероприятия на опытно-промышленной установке будут выражаться в следующем: наличие противопылезащитного слоя в основании площадок форматирования кучи, узла смешения, бассейнов продуктивных растворов, камер выщелачивания и др.; использование технологических, промывных и обезвреженных растворов в локальном оборотном водоснабжении; отсутствие сброса промстоков; выбор параметров, при соблюдении которых выделение токсичных реагентов в окружающую среду будет ничтожно малым; обеспечение очистки влаги кучи после выщелачивания, содержащей серную кислоту до предельно допустимых концентраций (ПДК), поскольку твердый материал кучи планируется использовать для закладки выработанного пространства.

С учетом особенностей процесса кучного выщелачивания и района строительства опытно-промышленной установки, рекомендуется осуществлять мониторинг по двум основным направлениям:

- охрана поверхностных и подземных вод;
- охрана атмосферного воздуха.

После завершения работ по выщелачиванию, не позднее трехмесячного срока должна быть проведена рекультивация земли. В районе площадки строительства установки отсутствуют места обитания ценных пород животных, нет объектов истории и культуры и других объектов, которые ограничивали бы возможность строительства и эксплуатации установки кучного выщелачивания.

Охрана атмосферного воздуха на опытно-промышленной установке подлежит систематическому контролю, исходя из следующих установленных значений:

$$M/\text{ПДК} > 0,1 \quad H > 10 \text{ м, где } M - \text{масса выброса; } H - \text{высота выброса.}$$

При оценке воздействия выделяющихся в атмосферу веществ на окружающую среду следует в первую очередь учитывать, что концентрация их в воздухе не должна оказывать вредного воздействия на человеческий организм, то есть должна быть ниже предельно-допустимой концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДК р.з.).

К источникам первой категории, которые должны контролироваться систематически, относятся источники, выбросы которых создают максимальные подземные концентрации  $C_m = 0,5$  ПДК, а также источники, на которых установлена пылегазоочистная аппаратура с КПД = 75 %. К таким источникам относятся все узлы, выделяющие рудную пыль и пары  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , для которых устанавливаются следующие неравенства:

$$\frac{M}{ПДК \times H} > 0,01 \text{ при } H > 10 \text{ м};$$

$$\frac{M}{ПДК} > 0,01 \text{ при } H > 10 \text{ м};$$

$$\frac{M}{ПДК \times H} \times \frac{100}{100 - КПД} > 0,01 \text{ при } H > 10 \text{ м};$$

$$\frac{M}{ПДК} \times \frac{100}{100 - КПД} > 0,01 \text{ при } H > 10 \text{ м}.$$

Контроль выбросов на предприятии осуществляется самим предприятием в соответствии с «Типовой инструкцией по организации системы контроля промышленных выбросов в атмосферу в отраслях промышленности» (Геофизобсерватория им. Воейкова, Санкт-Петербург).

Ответственность за осуществление контроля и соблюдения норм ПДК возлагается на службу охраны окружающей природной среды.

Контроль за выбросами производится путем прямых измерений загрязнения атмосферы. Предусматривается программа контроля выделения вредностей в атмосферу при эксплуатации опытно-промышленной установки.

Программа контроля выделения вредностей в атмосферу при эксплуатации опытно-промышленной установки некондиционной руды Жезказганского месторождения не содержит летучих веществ, которые могли бы выделяться в атмосферу в процессе выщелачивания и после него, как уже показано выше, вредностями, контролируемые на опыт+0-промышленной установке являются рудная пыль и пары серной кислоты.

В таблице 3 представлены ПДК р.з. для веществ, контролируемых на установке кучного выщелачивания.

Отбор проб воздуха производится в рабочих зонах установки непосредственно у кучи, около узла смешения, камер выщелачивания в складе серной кислоты (таблица 4).

Для осуществления указанных методов контроля требуется оснастить службу охраны окружающей среды следующим оборудованием:

1. Микроанометром типа ММН с комплектом пневмометрических трубок и резиновых шлангов для определения скорости, давления и разрежения при больших объемах воздуха.
2. Крыльчатый и чашечный анемометрами для измерения скорости движения воздуха.

Таблица 3 – Вредности, контролируемые при эксплуатации объекта

№ п/п	Вредность	Химическая формула	ПДК р.з., мг/м <sup>3</sup>
1	Пыль (рудная)	-	1,0
2	Пары серной кислоты		1,0

Таблица 4 – Точки отбора проб воздуха в рабочей зоне источников выделения вредностей

Точка отбора	Анализируемые компоненты	Частота отбора проб
Куча	Пыль, пары серной кислоты	1 раз в неделю
Узел смешения	Пыль, пары серной кислоты	1 раз в неделю
Камера выщелачивания	Пыль, пары серной кислоты	1 раз в неделю
Бассейны продуктивных растворов	Пыль, пары серной кислоты	1 раз в неделю
Склад серной кислоты	Пыль, пары серной кислоты	1 раз в неделю
Насосные банки	Пыль, пары серной кислоты	1 раз в неделю

В случае, если концентрация анализируемых веществ в воздухе рабочей зоны удовлетворяет требованиям ПДК, то следует сделать оценку распространения этих веществ от источников, то есть оценить ареал техногенного рассеяния. Ориентировочной границей рассеяния контролируемых веществ условно важно считать линию, на которой сохраняется концентрация их, соответствующая 0,5 ПДК р.з.

Отбор проб воздуха производится с учетом концентрации ареалов рассеяния, которую можно определить по формуле:

$$I = I_0 P_1 / P_0,$$

где  $I$  – величина распространения ареала рассеяния в  $i$ -том направлении;  $P_i$  – расчетная величина распространения ареала рассеяния контролируемых веществ от данного объекта;  $P_0 = 12.5$  %;  $P_0$  – повторяемость ветра в  $i$ -том направлении при  $P_i > P_0$  (при  $P_i \leq P_0$ ,  $L_i = L$ ) %.

В тех случаях, когда концентрация анализируемых веществ в воздухе рабочей зоны превышает ПДК р.з., необходимо проводить корректировку технологических процессов (при увеличении концентрации паров серной кислоты необходимо увеличить подачу в раствор защитного карбоната натрия; при увеличении запыленности применить увлажнение руды и т. д.).

При неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ) предусматривается осуществление следующих мероприятий:

- запрещение залповых выбросов вредных веществ в атмосферу;
- строгое соблюдение технологического режима;
- запрещение работы основного технологического оборудования на форсированном режиме с целью предотвращения интенсивного газовыделения;
- по возможности прекращение или сокращение объема перевозки сыпучих материалов и их складирования;
- запрещение продувки и чистки оборудования и других работ, связанных с повышением выделения вредных веществ в атмосферу.

При этом будет обеспечено снижение концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы по третьему режиму работы предприятия на 40 %. В целом, полученные данные могут служить базовым материалом для проектирования опытно-промышленной установки интенсивного выщелачивания на Мало-Спасском карьере по разделу «Охрана окружающей среды».

#### **Выводы**

- При нагнетании пульпы сорбента в скважины должны учитываться условия залегания водоносного пласта и его поглощающая способность. Нагнетательный насос должен обеспечивать давление, близкое к гидроразрыву пласта.
- Экологические проблемы, связанные с накоплением вредных веществ в природной среде, к сожалению, до сегодняшнего времени скрыты. Недопущение загрязнения составило бы лишь несколько процентов от затрат по проведению природоохранных мероприятий. Стала очевидной необходимость в разработке новых подходов к обеспечению безопасности людей и природной среды.
- Качественная и количественная оценка экологического риска, моделирование и прогнозирование развития опасных ситуаций позволяют выработать рекомендации по снижению экологического риска.

*Статья подготовлена в рамках на грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам «Технология получения препарата-адаптогена на основе гуматов из угля и экстрактов дикорастущих растений для создания устойчивого растительного покрова на техногенных объектах (AP14871298).*

Поступила: 09.10.2023; рецензирована: 23.10.2023; принята: 25.10.2023.



***Литература***

1. *Жалгасулы Н.* Биотехническая рекультивация техногенных образований / Н. Жалгасулы, Г.М. Черний, В.В. Ким, А.А. Исмаилова // *Промышленность Казахстана*. 2011. № 22.
2. *Ваганов П.А.* Экологические риски / П.А. Ваганов. М., СПб., 2001. 66 с.
3. *Руш Е.А.* Экологические технологии: методы совершенствования технологий сорбционной очистки промышленных сточных вод / Е.А. Руш // *Инженерная экология*. 2005. № 4. С. 11–27.
4. *Жалгасулы Н.* К вопросу очистки растворов подземного скважинного выщелачивания урана / Н. Жалгасулы, Г.К. Казбекова // *Сб. трудов ИГД*. 2009. № 78. С. 225–230.
5. *Жалгасулы Н.* Оптимизация технологических параметров при деминерализации пластовых вод / Н. Жалгасулы, Г.К. Казбекова // *Горный журнал Казахстана*. 2009. № 10. С. 38–39.
6. *Жарменов А.А.* Новые технологии добычи и переработки труднообогатимого полиметаллического сырья / А.А. Жарменов, А.Ж. Терликбаева, Н.С. Буктуков и др. Алматы: ТОО «ВикАп-Медиа», 2019. 624 с.