

Отчет Научной комиссии  
о результатах оценки  
ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВА ЦИАНИДА В РАЙОНЕ  
р. БАРСКАУН В РЕСПУБЛИКЕ КЫРГЫЗСТАН,  
произшедшего 20 мая 1998 г.

АВГУСТ 1998 г.

ГОРНОРУДНАЯ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ (ГМЛ)  
Т. П. Хайнз, Дж. Харрисон, Г. Байковиц, М. Джеймз, Е. Бонитенко,  
Т. М. Доронина и Дж. М. Зинк

Номер заказа ГМЛ 601887

ГОРНОРУДНАЯ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ  
ОТЧЕТ ГМЛ 98-039 (CR)

## КРАТКИЙ ОТЧЕТ О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ

За пять с половиной часов во второй половине дня 20 мая 1998 г. в реку Барскаун поступило около 1762 кг NaCN (935 кг CN). После аварии, послужившей причиной разлива, по просьбе заместителя премьер-министра Бориса Силаева с целью изучения последствий разлива цианида была создана научная комиссия, членами которой стали специалисты из разных стран. В состав этой комиссии вошли:

Том Хайнз, специалист в области охраны окружающей среды,  
Министерство природных ресурсов Канады, Оттава, КАНАДА;  
Джон Харрисон, консультант по вопросам здравоохранения, Министерство  
здравоохранения Канады, Оттава, КАНАДА;  
Евгений Бонитенко, врач-токсиколог, "ЭМЕРКОМ", РОССИЯ;  
Тамара Доронина, специалист в области химии, Московский институт  
химии и химических материалов, РОССИЯ;  
Гарри Байковиц, специалист в области химии, компания "Бодикот  
Текнитрол", Пойнт-Клер, КАНАДА;  
Майкл Джеймз, консультант по вопросам медицины, компания "Медисис",  
Торонто, КАНАДА.

Члены комиссии изучили вопросы, связанные с кратковременным и долговременным воздействием разлива цианида на состояние атмосферы, водной среды, почвы, овощных культур и растительности, качество рыбы и молока в районе разлива. Кроме того, члены комиссии изучили последствия разлива цианида для озера Иссык-Куль и дали оценку его санитарному состоянию. Были изучены также вопросы медицинского характера, имеющие отношение к разливу, и вопросы, касающиеся проблем перевозок. Оценивая последствия разлива, члены комиссии изучили все имеющиеся письменные материалы по данной проблеме, а также индивидуальные записи, сделанные на месте членами комиссии во время поездок в район разлива в мае-июне 1998 г.

Основные выводы, которые отражены в отчете, приводятся ниже.

1. Все зарегистрированные уровни концентрации цианида в атмосфере были значительно ниже нормативов промышленной гигиены/гигиены труда, считающихся безопасными.
2. Воздействие хлористого циана исключается, поскольку он не мог образовываться в значительном количестве.
3. Концентрация цианида в почве не достигала уровня, представляющего угрозу для здоровья человека (канадский норматив составляет 29 мг/кг).
4. Уровень концентрации цианида в р. Барскаун был достаточно высок и, по крайней мере в течение нескольких часов после разлива, мог оказывать серьезное воздействие на здоровье в том случае, если вода из реки использовалась в качестве питьевой воды.
5. В связи с тем, что в период до 2 июня 1998 не использовались ирригационные системы из-за опасений загрязнения цианидом, могли пострадать местные посевы сельскохозяйственных культур (в Барскауне и Тамге).
6. Не обнаружено каких-либо свидетельств прямого воздействия цианида на растительность на территории поселков Тосор, Тамга, Барскаун, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.
7. В последующие после разлива дни произошло вторичное заселение мест обитания рыб, что свидетельствует о низком уровне концентрации цианида в р. Барскаун и озере Иссык-Куль. Это наблюдение подтверждает вывод о том, что речная/озерная среда является безопасной для использования с целью удовлетворения общественных нужд.
8. Люди, использующие рыбу в своем рационе, не подвергались воздействию цианида в силу отсутствия обоснованных путей такого воздействия.
9. В результате употребления молока или молочных продуктов из района разлива воздействие цианида не отмечалось.

10. Озеру Иссык-Куль не был нанесен ни краткосрочный, ни долговременный ущерб.
11. Не ожидается, что воздействие на организм человека вызовет изменения канцерогенного, мутагенного, тератогенного, нейротоксического характера или повлияет на репродуктивную функцию.
12. В результате анализа проб, взятых в каналах на территории поселков Барскаун и Тамга, не обнаружено уровней концентрации цианида, которые могли бы оказать вредное воздействия на состояние здоровья людей. Не обнаружено также каких-либо возможных путей воздействия цианида на жителей поселков Тосор, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.
13. Возможно, до 16 случаев связано с воздействием цианида. Однако следует подчеркнуть, что такой диагноз не был окончательно подтвержденным диагнозом. Медицинских свидетельств, позволяющих классифицировать эти случаи как случаи, связанные с воздействием цианида, не имеется. Таким образом, комиссия не располагает научно обоснованными фактами, свидетельствующими о том, что ухудшение состояния здоровья этих людей напрямую связано с воздействием цианида.
14. Ни в одном из упомянутых 16 случаев потенциального воздействия цианида не ожидается долговременных последствий для здоровья пациентов.
15. В первые 72 часа после разлива не было зарегистрировано случаев со смертельным исходом. Случаи со смертельным исходом, зарегистрированные по истечении этого срока, не могут быть прямо связаны с воздействием цианида.
16. Широкое применение антидотов цианида было неоправданно и, возможно, само по себе оказало отрицательное воздействие на здоровье пациентов.
17. Вероятно, причиной аварии послужили действия водителя грузового автомобиля. Контейнер и упаковочный материал отвечали всем международным требованиям и требованиям к материалам, которые должны соблюдаться при перевозке цианида.

Руководствуясь заключениями, которые отражены в данном докладе, комиссия подготовила следующие рекомендации для СП "Кумтор" и правительства Кыргызстана.

1. Министерству здравоохранения и Министерству охраны окружающей среды Кыргызстана следует рассмотреть вопрос о введении собственных национальных норм концентрации цианида в воздухе, почве, воде и пищевых продуктах и разработать национальную программу сертификации для своих лабораторий.
2. При ликвидации последствий разлива цианида в окружающую среду следует избегать применения гипохлорита натрия, поскольку это может привести к образованию хлористого циана. На практике гипохлорит натрия следует использовать только в промышленных целях.
3. В случае подобных разливов первая мера, которую следует предпринять, заключается в соответствующем уведомлении потребителей воды на участках, расположенных ниже по течению, с целью предотвращения использования зараженной питьевой воды. Необходимо также обеспечить мониторинг, взятие проб, анализ и подготовку соответствующих отчетов.
4. Следует пересмотреть план действий в случае возникновения аварийной ситуации, имеющийся у СП "Кумтор", и представить копию пересмотренного плана в Министерство по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне Кыргызстана. Следует проводить по крайней мере один раз в год учебную тревогу для отработки действий в случае возникновения аварийной ситуации с участием работников "Кумтора" и Министерства по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне Кыргызстана.
5. Министерству здравоохранения Кыргызстана следует изучить имеющуюся медицинскую документацию и записи и представить сведения о количестве случаев, зарегистрированных в первые 72 часа после разлива цианида.

6. "Кумтору" и Министерству здравоохранения Кыргызстана следует организовать дополнительное обследование пациентов, у которых были отмечены характерные симптомы, и создать комиссию специалистов с целью анализа документации, касающейся симптоматики, одновременно с открытием Кумторской клиники.
7. Следует завершить повторное изучение четырех случаев со смертельным исходом, предположительно в результате воздействия цианида. В случае отсутствия подтвержденного и достоверного пути воздействия или проверенных биологических свидетельств (кровь, моча) воздействия цианида следует повторно установить причины смерти.
8. "Кумтору" и Министерству здравоохранения Кыргызстана следует совместно организовать обучение местного медперсонала с тем, чтобы научить ставить диагноз о воздействии цианида, обучить способам правильного обращения с опасными материалами, выработать навыки действовать в чрезвычайных обстоятельствах и оказывать неотложную помощь.
9. СП "Кумтор" следует проанализировать степень риска и экономической выгоды, связанных с производством цианида на месте, а также с рециркуляцией цианида на месте.
10. СП "Кумтор" и Министерству транспорта Кыргызстана следует совместно изучить возможность использования более прочных грузовых контейнеров или более прочной упаковки для перевозки цианида.
11. СП "Кумтор" следует обеспечить надлежащую подготовку и обучение всех работников предприятия, участвующих в перевозке (водителей грузовых автомобилей, охранников, сотрудников отдела снабжения и т. д.), методам ликвидации последствий разлива цианида.
12. Следует регулярно организовывать проверки и пересматривать процедуры, касающиеся правил транспортировки опасных грузов на рудник.

## БЛАГОДАРНОСТЬ ЗА ОКАЗАННУЮ ПОМОЩЬ

Международный комитет выражает признательность всем, кто оказал помощь и содействие в работе по выполнению поручения заместителя премьер-министра Бориса Силаева и, в частности,

Министерство охраны окружающей среды Кыргызстана:

Министру охраны окружающей среды Кыргызстана д-ру Кулубеку

Джоомартовичу Боконбаеву

д-ру Виктору Якимову

Анне Головченко

Министерство по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне  
Кыргызстана:

капитану Алику А. Айдакееву

Министерство природных ресурсов Канады:

Дженис Зинк

Министерство здравоохранения Канады:

Рою Квятковскому

Сильви Коад

Министерство иностранных дел и международной торговли Канады:

Послу Ричарду Манну

Министерство иностранных дел и международной торговли Канады:

Ирине Гриндаль

Министерство общественных работ и государственных услуг Канады:

Льву Ельницкому

Министерство обороны РФ:

проф. Сергею Куканко

Всероссийский центр экстремальной медицины и медицинской радиологии:

проф. Юрию Бонитенко

Московский институт химии и химических материалов:

Джону Скоробарову

Компания "Бодикот Текнитрол"

Шеннон Мико

Консультанты:

д-ру Алану Холлу

проф. Остапенко

Компания "Камеко Лимитед":

д-ру Хансу Леру

д-ру Франсуа дю Туа

Мы искренне благодарим всех за содействие в подготовке отчета.

## ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ

**ААГИПГ:** Американская ассоциация государственных инспекторов по промышленной гигиене.

**Амилнитрит:** ( $C_5H_{11}ONO_2$ ) сложный эфир амилового спирта, добавляемый в дизельное топливо для повышения цетанового числа.

**Канцерогенность:** способность химического или физического агента вызывать малигнизацию ткани (рак) у живых организмов или способствовать развитию раковых заболеваний у живых организмов.

**Маниок:** многолетний кустарник, крахмалистые клубневидные корни которого съедобны.

**Цианат:** соль или сложный эфир циановой кислоты, содержащий радикал  $CNO$ .

**Цианид:** любое из группы химических соединений, содержащее цианогруппу  $CN$  и получаемое из цианистого водорода,  $HCN$ .

**Хлористый циан:** ( $CLCN$ ) ядовитый бесцветный газ или ядовитая бесцветная жидкость, растворимые в воде, используются в органическом синтезе.

**Цианогенный:** способный производить цианид.

**ДНК:** дезоксирибонуклеиновая кислота, очень длинная молекула в виде цепочки, состоящая из тысяч субъединиц (оснований), последовательность которых в генетическом коде определяет нормальную структуру и функционирование клетки и организма.

**ЭК<sub>25</sub>:** концентрация какого-либо агента, например, химического вещества, снижающая рост на 25%.

**ЭК<sub>50</sub>:** концентрация какого-либо агента, например, химического вещества, снижающая рост на 50%.

**Эпидемиология:** изучение распространения и причин заболеваний и поражений среди населения.

**Цианистый водород:** ( $HCN$ ) высокотоксичная жидкость с запахом горького миндаля, закипающая при  $25,6^\circ C$ . Используется для производства солей цианида, акрилонитрила и красителей и в качестве фумиганта в сельском хозяйстве. Другие названия цианистого водорода: формонитрил, цианистоводородная кислота, синильная кислота.

**ЛК<sub>50</sub>**: летальная концентрация 50. Доза вещества, вызывающая гибель 50% подопытных животных.

**ЛД<sub>50</sub>**: летальная доза 50. Доза вещества, вызывающая гибель 50% подопытных животных.

**МКДНЭ**: минимальная концентрация, дающая наблюдаемый эффект. Минимальной концентрацией какого-либо агента, например, химического вещества, дающей наблюдаемый эффект, считается минимальная концентрация, вызывающая значительный с точки зрения статистики эффект.

**Мг/л**: миллиграмм на литр.

**Мг/кг**: миллиграмм на килограмм.

**Мутагенность**: способность химического или физического агента вызывать необратимое изменение генетического материала в живых клетках.

**КВДНЭ**: концентрация, не дающая наблюдаемого эффекта. Концентрацией какого-либо агента, например, химического вещества, не дающей наблюдаемого эффекта, считается максимальная концентрация, при которой измеренный эффект не отличается с точки зрения статистики от контрольных показателей.

**УВДНЭ**: уровень, не дающий наблюдаемого эффекта. Максимальная доза химического вещества, установленная в результате экспериментов или наблюдений, которая не отражается на морфологии, функциональных способностях, росте, развитии и продолжительности жизни контрольного организма.

**Фитопатология**: способность организма вызывать болезни растений.

**Синильная кислота**: цианистоводородная кислота (HCN). В состав некоторых сахаросодержащих соединений, называемых цианогенными гликозидами, входит ион цианида (CN<sup>-</sup>). Синильную кислоту можно получить из таких соединений только в результате расщепления с помощью определенных ферментов.

**Цианид натрия**: (NaCN) Ядовитый порошок, растворяющийся в воде. Быстро разлагается в состоянии покоя. Применяется для производства красителей и термообработки металлов, а также в качестве экстрагента для обработки серебро- и золотосодержащей руды.

**Гипохлорит натрия**: (NaOCl) Неустойчивые к воздействию воздуха кристаллы светло-зеленого цвета, обладающие сладким запахом. Растворяются в холодной воде, разлагаются в горячей воде. Гипохлорит натрия используется в качестве отбеливателя бумажной массы и текстиля, а также в качестве промежуточного химического соединения. Кроме того, гипохлорит натрия применяется в медицине.

**Тератогенность:** способность физического или химического агента вызывать ненаследственные врожденные пороки развития или врожденные дефекты у потомства.

**Тонна:** единица измерения массы веса в метрической системе, равная 1000 кг или приблизительно 2 204,62 фунтов.

**Токсическое действие:** любые изменения в организме, например, в растениях, в организме животных или людей, снижающие функциональные способности данного организма, что устанавливается в результате изучения анатомических, физиологических, биохимических или бихевиористских показателей и параметров. Токсическое действие снижает способность организма обеспечивать нормальное функционирование или усиливает восприимчивость данного организма к неблагоприятному воздействию других факторов окружающей среды.

**Токсичность:** свойство оказывать вредное воздействие на растения, животных и людей или способность быть ядовитым для растений, животных и людей; или же степень вредного воздействия на растения, животных и людей или степень ядовитости.

**Мкг:** микрограмм на килограмм. Единица измерения уровня концентрации, равная одной миллионной грамма на килограмм.

**Мг/мл:** микрограмм на миллилитр. Единица измерения уровня концентрации, равная одной миллионной грамма на одну тысячную литра.

**ВОЗ:** Всемирная организация здравоохранения.

**Источник:** Словарь научных и технических терминов, 4-е издание, 1989 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| Краткий отчет о проделанной работе.....   | ii  |
| Благодарность за оказанную помощь .....   | vii |
| Глоссарий терминов.....   | ix  |
| 1.0 Общая информация .....  | 1   |
| 2.0 Международные рекомендации и стандарты.....   | 8   |
| 3.0 Качество атмосферы, почвы и воды.....   | 16  |
| 4.0 Овощные культуры.....   | 25  |
| 5.0 Повреждение растительности.....   | 28  |
| 6.0 Рыба.....   | 32  |
| 7.0 Молоко.....   | 35  |
| 8.0 Озеро Иссык-Куль .....  | 37  |
| 9.0 Канцерогенность, мутагенность, тератогенность, влияние на<br>репродуктивную функцию и нейротоксичность..... | 38  |
| 10.0 Вопросы медицинского характера.....  | 46  |
| 11.0 Вопросы, касающиеся перевозки .....  | 64  |
| 12.0 Выводы .....   | 70  |
| 13.0 Рекомендации .....   | 74  |
| 14.0 Библиография .....   | 77  |

|  |     |
|--|-----|
| Приложение А: Подсчет общего количества NaCN, попавшего в окружающую среду 20 мая 1998 г. ....   | A-1 |
| Приложение В: Определение концентрации свободных ионов цианида в атмосфере .....   | B-1 |
| Приложение С: Использование гипохлорита натрия.....  | C-1 |
| Приложение D: Доклад Всемирной организации здравоохранения.....  | D-1 |
| Приложение Е: Определение содержания свободного цианида и общего содержания цианида в почве и грунте .....   | E-1 |
| Приложение F: Химический состав воды .....   | F-1 |
| Приложение G: Отчет о результатах изучения последствий разлива цианида в р. Барскаун – <i>Т. М. Доронина</i> .....   | G-1 |
| Приложение H: Краткий отчет о проделанной работе по результатам предварительной оценки дисперсии цианида в результате аварии, приведшей к разливу цианида – "Бик Интернешнл Инкорпорейтед" ..... | H-1 |
| Приложение I: Определение содержания цианида в воде .....  | I-1 |
| Приложение J: Виды растений, содержащие цианид в природе .....   | J-1 |
| Приложение K: Определение содержания цианида в овощах и фруктах.....   | K-1 |
| Приложение L: Фитопатологический анализ сельскохозяйственных культур.....  | L-1 |
| Приложение M: Отчет о результатах ветеринарных исследований, подготовленный университетом Саскачевана .....  | M-1 |
| Приложение N: Определение содержания свободного цианида в биосубстратах .....  | N-1 |
| Приложение O: Медицинские отчеты подготовили: <i>Е. Бонитенко, М. Джеймз, А. Холл</i> .....  | O-1 |
| Приложение P: Нормы техники безопасности, которые должны соблюдаться при осуществлении погрузочно-разгрузочных работ с опасными грузами или при транспортировке опасных грузов в Канаде.....     | P-1 |

## 1.0 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### 1.1 Кыргызстан

Кыргызстан расположен в Средней Азии. На востоке Кыргызстан граничит с Китаем, на севере – с Казахстаном, на западе – с Узбекистаном, а на юге – с Таджикистаном. Кыргызстан занимает территорию общей площадью 198 394 км<sup>2</sup> или 76 000 кв. миль (Рис. 1).

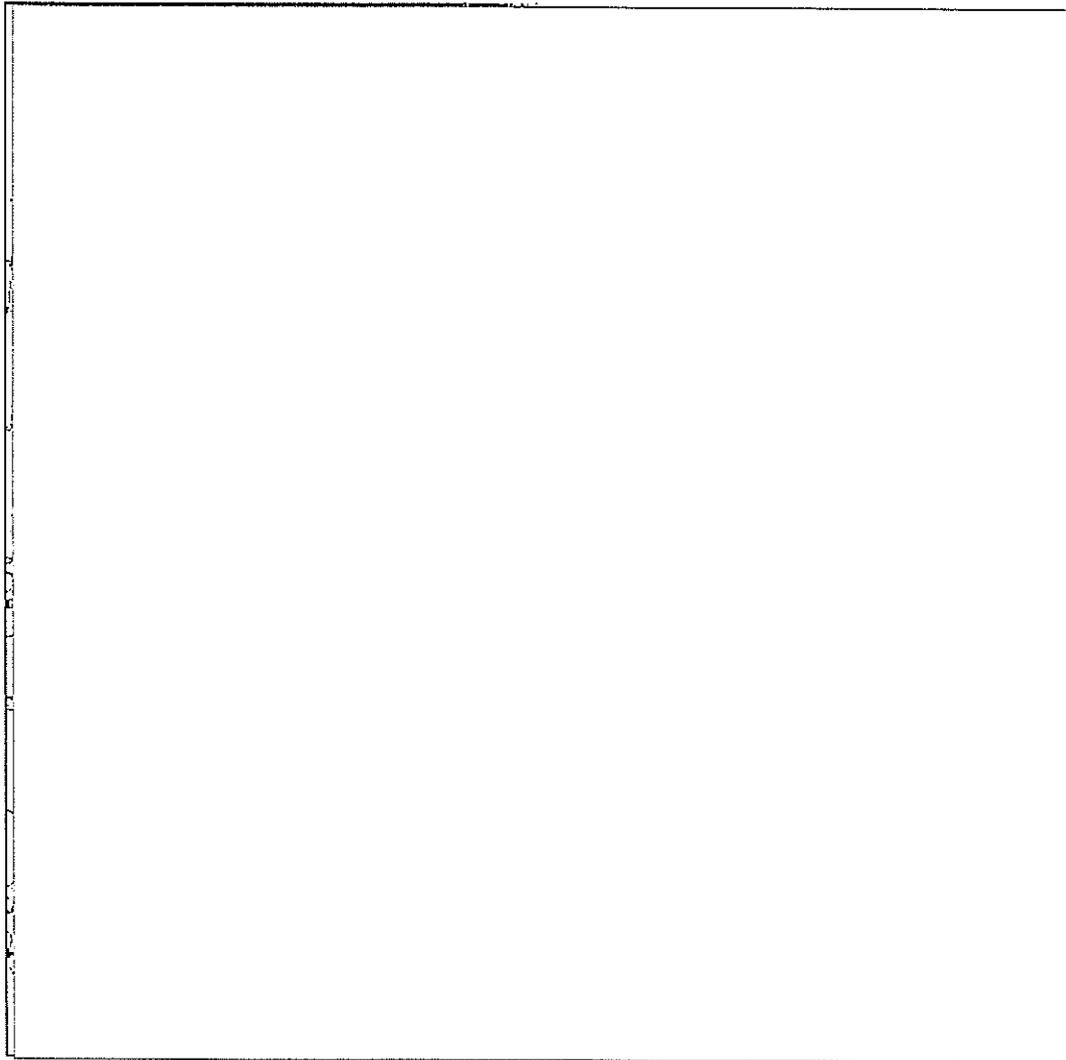


Figure 1: Map of Kyrgyzstan

Рис. 1 Карта Кыргызстана

Значительную часть территории Кыргызстана занимают величественные горы Тянь-Шань, что в переводе с китайского означает "божественные горы". Здесь расположены некоторые из крупнейших ледников и одно из самых известных горных озер мира - озеро Иссык-Куль, уникальная красота которого привлекает многочисленных туристов. Кроме того, озеро Иссык-Куль представляет большой интерес для ученых и исследователей. Что касается этнического состава населения Кыргызстана, 52% составляют киргизы, 21% - русские, 13% - узбеки и 14% - представители других национальностей.

## 1.2 Происшествие

В среду, 20 мая 1998 года, в 12.10, транспортный конвой в составе пяти грузовых автомобилей, сопровождаемых двумя машинами службы безопасности, направлялся от сортировочной станции Балыкчи к месторождению "Кумтор", разрабатываемому компанией "Комеко". Каждый грузовой автомобиль вез 6-метровый контейнер для морских перевозок (20 тонн) с брикетами цианида натрия ( $\text{NaCN}$ ).

На участке дороги, проходящей через Барскаунское ущелье, расположенном примерно на 8 километров выше деревни Барскаун (население 7 000 человек), четвертый грузовик конвоя перевернулся на дороге вблизи моста через реку Барскаун. Контейнер с цианидом натрия сорвался в реку, вслед за чем на контейнер сверху упал грузовой автомобиль.

Контейнер упал с шестиметровой высоты и получил повреждения, однако только семь мешков с цианидом натрия, находящихся в контейнере, прорвались, в основном в результате деформации контейнера. По расчетам в реку попало 1762 килограмма цианида натрия, 935 кг  $\text{CN}^-$  (Приложение А). Водитель грузового автомобиля сломал руку и ногу. Грузовик ремонту не подлежал.

### 1.3 Научная комиссия

После вышеупомянутого происшествия по просьбе заместителя премьер-министра Бориса Силаева была образована научная комиссия в составе иностранных специалистов с целью изучения последствий разлива цианида. В состав этой комиссии вошли:

Том Хайнз, специалист в области охраны окружающей среды,

Министерство природных ресурсов Канады, Оттава, КАНАДА;

Джон Харрисон, консультант по вопросам здравоохранения, Министерство здравоохранения Канады, Оттава, КАНАДА;

Евгений Бонитенко, врач-токсиколог "ЭМЕРКОМ", РОССИЯ;

Тамара Доронина, специалист в области химии, Московский институт химии и химических материалов, РОССИЯ;

Гарри Байковиц, специалист в области химии, "Бодикот Текнитрол", Пойнт-Клер, КАНАДА;

Майкл Джеймс, консультант по вопросам медицины, "Медисис", Торонто, КАНАДА.

### 1.4 Цианид

Цианиды образуют особую категорию соединений, характеризующихся присутствием группы  $C\equiv N$ . Цианидсодержащие соединения существуют в разных формах, включая свободный цианид, простые цианиды, сложные цианиды (металлоцианиды) и органические цианиды (нитрилы или гликозиды).

Свободным цианидом считается общее содержание цианида, присутствующего в виде  $HCN$  или  $CN^-$ . Цианистый водород представляет собой бесцветную жидкость с запахом горького миндаля и давлением пара 107,6 кПа при температуре 27,2°C, которая полностью растворяется в воде. Цианид калия,

выпускаемый в виде белого гранулированного порошка, и цианид натрия, представляющий собой белые кристаллы, также хорошо растворяются в воде.

Цианиды, присутствующие в воде и почве, образуют цианистый водород, который, благодаря своей низкой плотности, быстро улетучивается в атмосферу. Микроорганизмы, находящиеся в воде и почве, преобразуют часть цианида в менее опасные химические соединения, в том числе в металлоцианиды.

В большинстве продуктов питания содержится минимальное количество цианидов, например, в маниоке, батате, ямсе, маисе, просе, бамбуке, сахарном тростинке, горохе, бобах, в ядрах таких орехов, как миндаль, а также в семечках яблок, груш, лимонов, лайма и косточках вишен, абрикосов и разных видов слив. Ниже приводятся данные об уровне содержания цианида в некоторых продуктах питания: 0,001-0,45 мг/кг в зернах хлебных злаков и продуктах, производимых из злаковых культур, 0,07-0,3 мг/кг в продуктах, содержащих белок сои, 1000 мг/кг в маниоке и 100-300 мг/кг в лимской фасоли. Присутствие цианида в растительной пище объясняется тем, что цианиды вырабатываются естественным образом в растениях. Помимо этого цианиды поступают в растения из окружающей почвы. Следует подчеркнуть, однако, что концентрация цианида в почве, как правило, незначительная, поскольку ион цианида легко адсорбируется и удерживается в почве, а многочисленные микроорганизмы разрушают свободный цианид, в результате чего образуется углекислый газ и аммиак. Кроме того, остатки цианида были обнаружены в продуктах питания, обработанных фумигантами, содержащими цианид. Цианиды могут присутствовать и в рыбе, пойманной в зараженных водоемах. Однако они быстро разрушаются при нагревании. Поэтому в приготовленной пище цианиды присутствуют в небольшом количестве или же вообще отсутствуют.

Некоторые бактерии, грибки и водоросли также вырабатывают цианиды. Крайне незначительное количество цианида содержится в витамине В-12, который

является важнейшим витамином в нашем питании, предотвращающим развитие анемии (малокровия). Цианид, содержащийся в витамине В-12, прочно связан и не представляет опасности.

Цианид снижает способность тканей организма человека использовать кислород. Цианид оказывает одинаковое воздействие на здоровье независимо от того, попадает ли он в организм вместе с вдыхаемым воздухом и пищей или в результате контакта с кожной поверхностью. Вдыхание высоких концентраций цианида в течение непродолжительного периода времени быстро приводит к нарушению функционирования центральной нервной системы и сердца. Симптомы включают затрудненное дыхание, аритмию, неконтролируемые движения, конвульсии и коматозное состояние, что в итоге может привести к смертельному исходу. Поступление в организм вместе с вдыхаемым воздухом меньшего количества цианида в течение более продолжительного времени также представляет угрозу для жизни. При более низком уровне воздействия наблюдаются такие симптомы, как затрудненное дыхание, боли в области сердца, тошнота, изменение состава крови, головные боли и увеличение щитовидной железы. Попадание на кожу цианистого водорода или солей цианида может вызвать у некоторых людей раздражение и изъязвление кожи.

Степень воздействия цианида можно определить путем измерения количества цианида и тиоцианата, содержащегося в пробах мочи и крови. Поскольку эти соединения в небольшом количестве всегда присутствуют в организме человека, такие измерения полезны только в том случае, если человек подвергся воздействию большого количества цианида. Специалисты не располагают точными данными о степени воздействия цианида, которая обуславливает определенный уровень концентрации цианида или тиоцианата в содержащейся в организме человека воде.

Смертельные пероральные дозы цианидосодержащих соединений варьируются от 0,5 до 3,5 мг CN/кг веса тела, причем в большинстве случаев фатальные пероральные дозы составляют от 0,5 до 1 мг CN/кг веса тела (Управление охраны окружающей среды США, 1992 г.).

Таблица 1. Признаки токсического воздействия цианида

| Концентрация HCN в воздухе(мг/м <sup>3</sup> ) | Признаки токсического воздействия  |
|--|--|
| 1  | Пороговый уровень обнаружения запаха   |
| 35934  | Легкая головная боль в результате однократного воздействия   |
| 20-50  | После вдыхания на протяжении нескольких часов появляется головная боль, рвота, сердцебиение становится учащенным         |
| 50-60  | Воздействие от 30 мин. до 1 часа не приводит к последствиям краткосрочного или длительного характера                     |
| 100  | Опасно для жизни. Люди обычно умирают в течение первого часа воздействия   |
| 120-150  | Воздействие от 30 мин. до 1 часа приводит к смерти   |
| 200  | После 10 мин. воздействия наступает смерть   |
| 300  | У человека в спокойном состоянии после 2 мин. воздействия головная боль может не наблюдаться                             |
| 400  | У человека в спокойном состоянии после 1,5 мин. воздействия головная боль может не наблюдаться                           |
| 550  | Воздействие в течение 1 мин. не приводит к серьезным последствиям  |
| 7000-12000                                     | Даже при применении защитных средств воздействие в течение 5 мин. опасно, так как ядовитое вещество проникает через кожу |

Специалисты в области изучения влияния вредных веществ на организм человека и млекопитающих рассматривают в качестве острого воздействия химического соединения одноразовую дозу или одноразовое воздействие в течение периода, не превышающего 14 дней. Долговременным воздействием считается воздействие химического соединения в течение 365 и более дней (как правило, речь идет о ежедневном воздействии в течение всего периода).

Поскольку период воздействия цианида, попавшего в воду реки Барскаун, был

менее одного дня, а период воздействия цианида из почвенных источников скорее всего не превысил нескольких дней, можно сделать вывод о том, что в результате вышеупомянутого происшествия местное население подверглось острому, а не долговременному воздействию. Несмотря на то, что в отчете говорится о последствиях долговременного воздействия на организм, таких, как мутагенность, это сделано лишь с целью дать полную картину (см. Раздел 9), поскольку такие последствия не имеют отношения к рассматриваемому случаю. В данной ситуации уместно рассмотреть только характер и особенности острого воздействия и возможное влияние такого воздействия на состояние здоровья.

Речь может идти только о кратковременном воздействии. Любое проявление отрицательного влияния на состояние здоровья явилось результатом кратковременного или острого воздействия и не может объясняться долговременным или постоянным воздействием. Важно проводить четкое различие между этими двумя типами воздействия, поскольку в научной литературе рассматриваются случаи либо кратковременного (острого), либо долговременного (постоянного) воздействия конкретного химического соединения на людей или животных. Характер отрицательного влияния на состояние здоровья в результате воздействия цианида обычно обуславливается типом воздействия.

## 2.0 МЕЖДУНАРОДНЫЕ НОРМЫ И СТАНДАРТЫ

Необходимо подчеркнуть тот факт, что допустимые нормы концентрации разрабатывались с учетом последствий хронического воздействия, тогда как в данном случае речь идет об остром воздействии. Существует также другой показатель токсичности – минимальная эффективная концентрация, которая на 1-2 порядка выше (10-100х), чем допустимый уровень концентрации в случае хронического воздействия.

В соответствии с российскими нормативами максимально допустимый уровень концентрации для цианистого водорода и его солей составляет  $0,3 \text{ мг/м}^3$  при работе в закрытом помещении (речь идет об окружающем воздухе в помещении) и  $0,01 \text{ мг/м}^3$  для атмосферного воздуха. В соответствии с российским нормативом уровень содержания HCN (CN<sup>-</sup>) в водах источников –  $0,1 \text{ мг/л}$ .

В ряде стран, в том числе в Канаде, Нидерландах, Великобритании и Германии установлены нормы и критерии, касающиеся уровня концентрации цианида в почвах и грунтовых водах. На территории Канады нормы содержания цианида в почве и грунтовых водах установлены в провинциях Альберта, Британская Колумбия, Онтарио и Квебек (Таблица 1). Нормы содержания цианида в почве обычно выражаются в виде соответствующих критериев, с помощью которых определяется содержание свободного цианида и общее содержание цианида. Действующие в Канаде нормы содержания свободного цианида варьируются от  $0,9$  до  $100 \text{ мг/кг}$  сухого веса почвы, а нормы общего содержания цианида – от  $5$  до  $500 \text{ мг/кг}$  сухого веса почвы. Нормы, установленные другими агентствами и ведомствами варьируются от  $1$  до  $500 \text{ мг/кг}$  сухого веса почвы для свободного цианида и от  $5$  до  $5000 \text{ мг/кг}$  сухого веса почвы для сложных цианидов. В соответствии с канадскими Рекомендациями, касающимися качества воды, принятыми с целью защиты водной флоры и фауны, норма содержания свободного CN/L составляет  $5 \text{ мкг}$  (Канадский совет министров по ресурсам и

окружающей среде, 1987 г.), а предельно допустимая концентрация свободного CN/L в питьевой воде – 200 мкг (Министерство здравоохранения и социального обеспечения Канады – МЗСОК, 1992 г.).

Для целевого использования земель были утверждены Канадские критерии качества окружающей среды для зараженных районов, включающие действующие в разных юрисдикциях Канады критерии для почвы и воды. Был подготовлен специальный протокол о порядке установления норм, обеспечивший научное обоснование пересмотренных нормативов (КСМООС, 1996 г.).

В протоколе рассматривается воздействие зараженной почвы на организм человека и окружающую среду с учетом характера землепользования (например, сельскохозяйственные земли, земли, отведенные под жилье/парки, промышленную застройку или торговые предприятия).

Определение норм качества почвы, обеспечивающих охрану здоровья человека, включает оценку опасности, которую представляет тот или иной химикат, определение расчетного суточного поступления данного химиката в организм независимо от воздействия какого-то конкретного зараженного участка (фоновый уровень воздействия) и разработку общих сценариев воздействия, соответствующих конкретным целям землепользования. Норма содержания химиката в почве должна предусматривать, чтобы совокупное воздействие загрязнителя (расчетное суточное поступление в организм плюс воздействие на участке при уровне концентрации, соответствующем норме) представляло минимальный риск.

Нормы, касающиеся качества почвы, обеспечивающие надлежащее санитарное состояние окружающей среды, основываются на токсикологических данных об окружающей среде, используемых при определении пороговых уровней для основных рецепторов. Экологически приемлемые нормы для земельных

участков, выделяемых под жилье/парки и торговые/промышленные предприятия основываются главным образом на данных о воздействии в результате непосредственного контакта с почвой.

При наличии достаточного объема информации для некоторых видов землепользования можно применить другую методику, в основе которой лежит воздействие зараженной почвы и поступление в организм вредных веществ вместе с зараженными продуктами питания. В случае применения обоих вышеупомянутых методов для определения нормы содержания вещества в почве земель, отведенных под сельскохозяйственные угодья, в качестве экологически приемлемой нормы, обеспечивающей надлежащее качество почвы, утверждается норма, основывающаяся на самой низкой концентрации данного вещества.

Окончательные общенациональные канадские или рекомендованные нормы содержания химических веществ, таких, как цианид, разрабатываются на основании самых низких концентраций данных химических веществ, определяемых с учетом обеспечения охраны окружающей среды и здоровья человека для каждой из следующих четырех зон, образованных в результате функционального зонирования территории: сельскохозяйственной зоны, жилой/парковой зоны, торговой зоны и промышленной зоны.

В Таблице 2 указана допустимая концентрация свободного цианида в почве, не представляющая угрозы для здоровья человека (свободный цианид), равная 29 мг/кг для сельскохозяйственной зоны. Эта норма установлена в 1997 году Канадским советом министров охраны окружающей среды (КСМООС). При разработке учитывались данные о токсическом воздействии цианосодержащих соединений на животных и людей.

В Таблице 2 также указана допустимая концентрация цианида в почве, не представляющая угрозы с точки зрения санитарного состояния окружающей среды

или возможного экологического ущерба, равная 0,9 мг/кг (свободного цианида) для сельскохозяйственной зоны. Эта норма установлена в 1997 г. КСМООС и основывается на результатах изучения токсического воздействия цианида на отдельные виды растений и беспозвоночных, включая земляных червей, кустовую фасоль, редис и латук.

Окончательная рекомендованная норма концентрации того или иного химического вещества, в данном случае цианида, действующая в Канаде, разрабатывается на основе самой низкой нормы концентрации данного вещества, обеспечивающей охрану окружающей среды или здоровья человека. Поскольку норма концентрации для окружающей среды, равная 0,9 мг/кг – самая низкая, она была утверждена в качестве канадской рекомендованной нормы.

Таблица 2. Действующие нормы и критерии, касающиеся содержания свободного цианида и общего содержания цианида в почве и воде

| Юрисдикция               | Среда  | Описание   | Максимальная концентрация                                      | Орган                 |
|--------------------------|--------|--|--|-----------------------|
| Россия                   | Воздух | Допустимый уровень в помещении (на рабочем месте)  | 0,3 мг/м <sup>3</sup>  |                       |
|                          | Воздух | Допустимый уровень в атмосфере   | 0,1 мг/м <sup>3</sup>  |                       |
|                          | Вода   | Допустимый уровень содержания в источниках   | 0,1 мг/л   |                       |
| Канада                   | Почва  | Рекомендованные нормы (свободный цианид)   | С/Х: 0,9 мг/кг<br>Ж/П: 0,9 мг/кг<br>Т/П: 8,0 мг/кг             | КСМООС<br>1997        |
|                          | Почва  | Норма концентрации, не влияющая на здоровье человека (свободный цианид)  | С/Х: 29 мг/кг<br>Ж/П: 29 мг/кг<br>Т: 107 мг/кг<br>П: 420 мг/кг | КСМООС<br>1997        |
|                          | Почва  | Норма концентрации, не влияющая на санитарное состояние окружающей среды (свободный цианид)                      | С/Х: 0,9 мг/кг<br>Ж/П: 0,9 мг/кг<br>Т/П: 8,0 мг/кг             | КСМООС<br>1997        |
| Альберта                 | Почва  | Норма общего содержания цианида после очистки; для почв, содержащих менее 10% глины, этот показатель ниже на 50% | 5мг/кг   | МООС Альберты<br>1990 |
| Британская Колумбия (БК) | Почва  | Норма общего содержания цианида после очистки  | БК-А: 5 мг/кг<br>БК-В: 50 мг/кг<br>ВС-С: 500 мг/кг             | МООС БК 1989          |
|                          | Почва  | Норма содержания свободного цианида после очистки  | БК-А: 1 мг/кг<br>БК-В: 10 мг/кг<br>БК-С: 100 мг/кг             | МООС БК 1989          |

| Юрисдикция     | Среда | Описание   | Максимальная концентрация                          | Орган                                    |
|----------------|-------|--|--|--|
| Квебек (К)     | Почва | Норма общего содержания цианида  | К-А: 5 мг/кг<br>К-В: 50 мг/кг<br>К-С: 500 мг/кг    | МООС Квебека<br>1988                     |
|                | Почва | Норма содержания свободного цианида  | К-А: 1 мг/кг<br>Q-В: 10 mg/kg<br>Q-С: 100 mg/kg    | МООС Квебека<br>1988                     |
| Онтарио        | Почва | Норма содержания в неподвижном поверхностном слое на территории свалки   | 0,02 мкг/г   | МООС Онтарио<br>1992                     |
|                |       | Норма содержания в поверхностном слое в городской жилой зоне   | 0,05 мкг/г   |  |
|                |       | Норма содержания в поверхностном слое на территории контролируемого участка<br>(Цианиды не указаны)              | 10,0 мкг/г   |  |
| Онтарио        | Почва | Предложенная норма содержания цианидов (цианосодержащие соединения не указаны) после очистки зараженных участков |  |  |
| Онтарио        |       | Поверхностный слой почвы:  | С/Х: 100 мкг/г<br>Ж/П: 100 мкг/г<br>Т/П: 100 мкг/г |  |
|                |       | Подпочвенный слой :  | Ж/П: 100 мкг/г<br>Т/П: 390 мкг/г                   |  |
| Массачусетс    | Почва | SG-1 почвы, свободный цианид<br>SG-2 почвы, свободный цианид<br>SG-3 почвы, свободный цианид                     | 100 мкг/кг<br>830 мкг/кг<br>830 мкг/кг             | Управление охраны окружающей среды, 1993 |
| Великобритания | Почва | Пороговый предел: приусадебные сады, участки и зоны отдыха (свободный цианид)                                    | 25 мг/кг   | МООС Великобритании<br>1990              |

| Юрисдикция | Среда | Описание   | Максимальная концентрация   | Орган   |
|------------|-------|--|---|---|
|            | Почва | Контрольный предел: приусадебные сады, участки и зоны отдыха (свободный цианид)  | 500 мг/кг   |   |
|            | Почва | Пороговый предел: приусадебные сады и участки (сложные цианиды)  | 250 мг/кг   |   |
|            | Почва | Контрольный предел: приусадебные сады и участки (сложные цианиды)  | 1000 мг/кг  |   |
|            | Почва | Пороговый предел: здания и закрытое пространство (свободный цианид)  | 100 мг/кг   |   |
|            | Почва | Пороговый предел: здания и закрытое пространство (сложные цианиды)   | 250 мг/кг   |   |
|            | Почва | Контрольный предел: здания и закрытое пространство (свободный цианид)  | 500 мг/кг   |   |
|            | Почвы | Пороговый предел: ландшафты (сложные цианиды)  | 250 мг/кг   | МООС Великобритании   |
|            | Почва | Контрольный предел (сложные цианиды)   | 5000 мг/кг  |   |
| Нидерланды | Почва | Контрольный уровень концентрации свободного цианида в почве/отложениях.<br>Контрольный уровень концентрации сложных цианидов в почве/отложениях  | 1 мг/кг<br>5 мг/кг  | Министерство охраны окружающей среды Нидерландов – МООСН 1991 |
| Германия   | Почва | Общее содержание цианида после очистки участка типа Ia<br>Общее содержание цианида после очистки участка типа Ib<br>Общее содержание цианида после очистки участка типа II<br>Общее содержание цианида после очистки участка | 25 мг/кг сухого веса<br>25 мг/кг сухого веса<br>50 мг/кг сухого веса<br>100 мг/кг сухого веса | Amtsblatt fur Berlin ("Берлинская газета") 1990               |

|  |  |          |  |  |
|--|--|----------|--|--|
|  |  | типа III |  |  |
|--|--|----------|--|--|

| Юрисдикция  | Среда               | Описание  | Максимальная концентрация                        | Орган   |
|-------------|---------------------|---|--|---|
| Канада      | Питьевая вода       | Канадские нормы качества питьевой воды<br>ПДК (свободный цианид)<br>Действительная концентрация (свободный цианид)  | 0,2 мг/л<br>≤0,002 мг/л                          | МЗСОК, 1979;<br>1980; 1989;1991                                 |
| Онтарио     | Грунтовые воды      | Норма содержания после очистки грунтовых вод (цианосодержащие вещества не указаны)  | 52 мкг/л   | Министерство охраны окружающей среды и энергетики Онтарио 1994В |
| Квебек      | Грунтовые воды      | Нормы содержания цианида  | К-А: 40мкг/л<br>К-В: 200 мкг/л<br>К-С: 400 мкг/л | МООС Квебека 1988   |
| Канада      | Грунтовые воды      | Норма содержания свободных цианидов и общего содержания цианида, применяемая при промежуточной оценке грунтовых вод   | 40 мкг/л   | КСМООС 1991   |
| Массачусетс | Грунтовые воды (ГВ) | ГВ-1 грунтовые воды, свободный цианид<br>ГВ-2 грунтовые воды, свободный цианид<br>ГВ-3 грунтовые воды, свободный цианид                                     | 200 мкг/л<br>–<br>10 мкг/л                       | Управление охраны окружающей среды 1993                         |
| Нидерланды  | Грунтовые воды      | Контрольный уровень концентрации свободного цианида в грунтовых водах.<br>Контрольный уровень концентрации сложного цианида в грунтовых водах, равный 5мг/л | 5 мг/л<br>5мг/л                                  | МООСН 1991  |

### Пояснения

С/Х: сельскохозяйственная зона; Ж/П: жилая и/или парковая зона; Т/П: торговая и/или промышленная зона; Т: торговая зона; П: промышленная зона; БК-А: исследовательский критерий для С/Х и Ж/П зон; БК-В: критерий восстановления для Ж/П зон; БК-С: критерий восстановления для Т/П зон; К-А: естественный фоновый уровень; К-В: исследовательский критерий; К-С: критерий восстановления.

SG-1: "доступные" земли, которые используются или могут быть использованы в качестве сельскохозяйственных земель для интенсивного землепользования; SG-2: "доступные" земли, используемые менее интенсивно; SG-3: "доступные" земли, которые используются с определенной интенсивностью или "изолированные" земли, независимо от интенсивности землепользования;

ГВ-2: источник испарений, попадающих в здания, где находятся люди; ГВ-3: выбросы в поверхностные воды;

Ia: заповедные водоемы; Ib: районы, чувствительные к воздействию; II: геологические речные долины; III: возвышенности.

## 3.0 КАЧЕСТВО АТМОСФЕРЫ, ПОЧВЫ И ВОДЫ

### 3.1 Атмосфера

Один из основных факторов, вызывающих ослабление действия цианида натрия – испарение. В результате соприкосновения цианида натрия с водой – а это может быть влажный воздух, дождь или поверхностные воды – образуется цианистый водород (HCN). Количество образуемого таким образом цианистого водорода зависит от показателя концентрации водородных ионов (рН) данного раствора: по мере снижения рН образуется больше HCN. Поскольку газ цианистого водорода легче воздуха, он поднимается в атмосферу, где естественным образом разлагается. Переносные приборы для определения концентрации цианида в атмосфере, использованные для замеров в районе Барскауна, не обнаружили наличия газообразного цианида (HCN). Запах цианида в воздухе, если он был, мог сохраняться только в течение того дня, когда произошла авария.

В результате проведения дополнительных работ по взятию проб воздуха, осуществленных в период с 20 мая по 10 июня 1998 г., было установлено, что в большинстве случаев концентрация HCN в атмосфере составляла менее 0,1 мг/м<sup>3</sup> (Приложение В). Самая высокая концентрация HCN в разовой пробе, зарегистрированная в день аварии, варьировалась в пределах 0,5–6 мг/м<sup>3</sup>. Эти уровни концентрации соответствовали показателям, зарегистрированным в ходе анализа результатов исследования на моделях, осуществленного компанией "Бик". Повышенная концентрация цианида в атмосфере была зарегистрирована 22 мая 1998 г. над участком, расположенным слева от устья (район залива) и над озером (район залива), – соответственно 1,8 и 4,6 мг/м<sup>3</sup>. Эти показатели не соответствуют поведению цианида и могут объясняться воздействием иных факторов. В последующие после аварии дни в большинстве случаев уровень концентрации цианида в воздухе был ниже наблюдаемого уровня, включая уровень концентрации цианида в районе озера Иссык-Куль.

Меры по обеззараживанию районов, пострадавших в результате разлива цианида, включали использование гипохлорита натрия для нейтрализации токсического действия цианида путем образования цианата. В ходе реакции преобразования  $CN^-$  в  $CNO$  образуется переходное соединение, - хлористый циан. Хлористый циан представляет собой растворимый газ, который остается в растворе, если показатель pH превышает 8. С учетом зарегистрированных уровней концентрации цианида и количества добавленного гипохлорита натрия, максимальная концентрация хлористого циана, который мог образоваться в ходе реакции, составила бы  $0,0117 \text{ мг/м}^3$ . Пороговая концентрация для хлористого циана, установленная Американской ассоциацией государственных инспекторов по промышленной гигиене, составляет  $0,75 \text{ мг/м}^3$ . Пороговая концентрация (ПК) представляет собой среднюю концентрацию в пересчете на время, установленную для обычного 8-часового рабочего дня и 40-часовой рабочей недели. При этом подразумевается, что почти все работники могут неоднократно, изо дня в день подвергаться воздействию такой концентрации. В России промышленная пороговая концентрация для хлористого циана составляет  $0,2 \text{ мг/м}^3$ . Этот норматив базируется на результатах изучения качества воздуха внутри помещений. В случае с аварией в Кыргызстане речь идет о воздействии на открытом воздухе.

В Приложении С приводятся подробные расчеты для определения количества хлористого циана. Следует подчеркнуть, что использование гипохлорита могло привести к образованию крайне незначительного количества хлористого циана, или же вообще этого не было. Вместе с тем существовала вероятность выделения незначительного количества газообразного хлора. Возможно, этим объясняется присутствие запаха в воздухе в течение всего времени, пока применялся гипохлорит.

### 3.2 Почва

Основными процессами, влияющими на перенос и распространение цианида в почвах, являются испарение и биodeградация. Цианид может также образовывать сложные соединения с тяжелыми металлами, в частности, с железом, и осаждаться в растворе. Цианистый водород не восприимчив к фотохимической диссоциации (фотолизу) в почвах. Однако сложные цианиды, например, ферроцианиды и феррицианиды могут быстро распадаться под действием солнечного света и последующей фотодиссоциации, в результате чего выделяется свободный цианид. Цианиды могут адсорбироваться рядом материалов, включая глины и активный ил. Следует подчеркнуть, однако, что имеющиеся данные свидетельствуют о том, что скорость поглощения почвами цианистого водорода и металлосодержащих цианидов ниже по сравнению со скоростью их испарения или биodeградации. Небольшое количество цианида, попавшего в почву, может подвергнуться окислению, в результате чего образуется цианат (HCNO). Благодаря высокой летучести цианида и деятельности почвенных микроорганизмов в естественных условиях высокие концентрации цианида не сохраняются и цианид не аккумулируется в почве.

В период с 26 по 27 мая 1998 г. в местных садах и огородах было взято девять проб почвы. На шести участках концентрация цианида составила менее 0,5 мг/кг. На трех других участках концентрация цианида составила соответственно 0,7 мг/кг, 0,6 мг/кг и 0,5 мг/кг. Эти показатели были ниже желательного допустимого и экологически приемлемого уровня содержания цианида в почве, предложенного ВОЗ, который составляет 1,0 мг/кг (Приложение D).

Рекомендуемая концентрация цианида в почве, не представляющая угрозы для здоровья, составляет в Нидерландах 20 мг/кг, в Канаде – 29 мг/кг. Кроме того, упоминается и более низкая концентрация, равная 0,9 мг/кг. Однако в этом случае речь идет о воздействии цианида на определенную биоту (например, на земляных

червей). Рекомендуемая экологически приемлемая концентрация цианида в почве, предложенная ВОЗ, составляет менее 1,0 мг/кг. Результаты анализов, приведенные выше, свидетельствуют о том, что во всех случаях уровень содержания цианида в почве был ниже рекомендуемых норм концентрации, установленных в Канаде и Нидерландах, и желательного уровня концентрации, установленного ВОЗ.

3 июня 1998 г. по инициативе министерства охраны окружающей среды была осуществлена совместная программа взятия проб, в которой приняли участие представители Академии Наук из Москвы, Санитарно-эпидемиологического управления, Управления охраны окружающей среды и компании "Кумтор Оперейтинг Кампани". Уровень концентрации цианида во всех взятых пробах почвы был менее 0,2 мг/кг. Канадские эксперты Т. Хайнз и Дж. Харрисон взяли дополнительные пробы почвы для анализа. Зарегистрированная концентрация цианида в этих пробах составила менее 0,5 мг/л.

В период с 20 мая по 10 июня 1998 г. было взято дополнительно 137 проб почвы и грунта для определения уровня концентрации цианида (Приложение Е). Самая высокая концентрация цианида была отмечена в пробе почвы, взятой 20 мая 1998 г. на месте происшествия (левый берег). В течение суток уровень концентрации снизился с 20 мг/кг до 6,4 мг/кг. То же самое касается уровня концентрации цианида в пробе почвы, взятой у моста: в день аварии концентрация составила 4,6 мг/кг и затем к 26 мая 1998 г. снизилась до 0,272 мг/кг.

Уровень концентрации цианида в большинстве взятых проб составил менее 1,0 мг/кг, за исключением проб, взятых на месте происшествия. Средний уровень естественной фоновой концентрации цианида в почве на севере Кыргызстана составляет 0,059 мг/кг.

В результате анализа 37 проб почвы компанией "Бодикот Текнитрол Ико" был выявлен аналогичный уровень общего содержания цианида в пробах почв,

взятых в деревнях, расположенных в районе р. Барскаун (Приложение Е). Средний показатель общего содержания цианида составил  $0,62 \pm 0,57$  мг/кг. Показатели, полученные в результате анализа КОС, были выше, чем показатели, полученные с помощью других видов анализа. Однако во всех случаях уровни концентрации были значительно ниже рекомендованных предельных концентраций. В целом анализ взятых проб не выявил концентрацию цианида, превышающую естественное фоновое загрязнение. Отмеченные уровни концентрации не представляют угрозы с точки зрения поглощения цианида овощными культурами или заражения грунтовых вод.

### 3.3 Вода

20 мая 1998 г. за 5,5 часа в реку Барскаун попало около 1 762 кг цианида натрия. Исходя из расчетов водного режима (скорости потока и объема воды), произведенных 2 июня 1998 г., можно сделать вывод о том, что факел вод с высокой концентрацией цианида достиг Барскаунского канала примерно через 16 минут, Тамгайского канала – через 25 минут и озера Иссык-Куль – через 4 часа 10 минут (Приложение Г). Однако расчеты специалистов компании "Бик Интернешнл" (Приложение Н) дают основание предположить, что более половины цианида, содержащегося в этих водах, испарилось.

Взятие проб с целью определения уровня концентрации цианида в окружающей среде началось около 14. 15 (примерно через два часа после разлива). Зарегистрированная концентрация свободного цианида в р. Барскаун варьировалась в период между 14.15 и 16.15 от 8,15 мг/л до 16,20 мг/л. Вероятно, концентрация была такой же в промежуток времени с момента аварии до прибытия группы реагирования. Пробы воды были взяты на участке, расположенном в 20 метрах ниже по течению от места аварии. Члены комиссии

признают тот факт, что взятые и изученные пробы являются разовыми пробами и могут не отражать действительный уровень концентрации цианида в реке.

Около 16.45, когда осуществлялся подъем контейнера из реки, произошел дополнительный выброс растворившегося цианида, который находился в контейнере. В результате этого на участке реки, расположенном в 20 метрах ниже по течению от места происшествия, концентрация цианида в речной воде возросла до 78,60 мг/л. В 17.15 уровень концентрации в этом месте снизился до 62,00 мг/л. Спустя 30 минут, в 17.45, контейнер был извлечен из реки и концентрация цианида снизилась до 0,2 мг/л, а к 18.15 уровень концентрации был ниже предела обнаружения.

Данных об уровне концентрации цианида с того момента, когда контейнер упал в реку, до 14.15 нет. Можно предположить, что прошло какое-то время, пока контейнер заполнялся водой до уровня воды в реке, поскольку вода поступала в контейнер через образовавшуюся пробоину размером 70 x 70 см (0,49 м<sup>2</sup>) (Приложение F). Спустя два часа концентрация цианида повысилась до 16,2 мг/дм<sup>3</sup>. Исходя из расчетной средней концентрации, равной 8,1 мг/дм<sup>3</sup>, было подсчитано, что в речной воде растворилось 163,3 кг цианида натрия (NaCN). Можно предположить, что в Барскаунский канал цианид натрия из этих 163,3 кг не попал (поскольку канал был перекрыт). 138,8 кг цианида натрия попало в озеро Иссык-Куль, 24,5 кг – в Тамгайский канал. На основании расчетов можно предположить, что в период с 14.00 до 17.00 в воде растворилось 348 кг CN. Что касается распространения цианида, в озеро попало 248 кг, в Барскаунский канал – 67 кг, в Тамгайский канал – 35 кг. По имеющимся расчетам во время подъема контейнера из реки в течение одного часа в воду попало 423 кг: 284 кг попало в озеро, 77 кг – в Барскаунский канал, 63,7 кг – в Тамгайский канал. Из 935 кг цианида, попавшего в реку в результате аварии, в озеро поступило 670 кг, в Барскаунский канал – 144 кг, в Тамгайский канал – 121 кг. Следует отметить, что

здесь не учитывается количество цианида, улетучившегося в атмосферу, которое приводится в Приложении G, где даны подробные расчеты.

Специалисты компании "Бик Интернешнл" провели тщательное исследование на моделях р. Барскаун и близлежащих водотоков (Приложение Н). Используя параметры речного водотока (расход водотока, показатель рН, температура) они определили скорость испарения цианида, содержащегося в реке Барскаун. Результаты анализа свидетельствуют о том, что большая часть цианида улетучилась в атмосферу (535 кг) и что в озеро Иссык-Куль поступило только 238 кг CN, в Барскаунский канал – 100 кг, в Тамгайский канал – 61 кг.

Как показывают результаты другой серии анализов (Приложение I), уровень концентрации цианида в реке и озере Иссык-Куль составил на следующий день после аварии (21 мая 1998 г.) менее 0,5 мг/л. В результате анализа дополнительных проб воды, взятых 26-27 мая 1998 г. д-ром Р. Клевером, представителем ВОЗ, было установлено, что концентрация цианида в этих пробах составила менее 0,002 мг/л. Анализ проб, взятых участниками вышеупомянутой совместной программы взятия проб, свидетельствует о том, что после 3 июня 1998 г. уровень концентрации цианида во всех случаях был ниже предела обнаружения, равного 0,002 мг/л.

#### **3.4 Величина порогового предела (ВПП) для почвы и воды**

Ниже сравниваются рекомендованные нормы содержания цианида на рабочем месте, действующие в промышленности, которые называются ВПП (Американская ассоциация государственных инспекторов по промышленной гигиене), с показателями содержания цианида в почве и воде, зарегистрированными в результате разлива цианида.

Величина порогового предела – предельная концентрация (ВПП-ПК) – это уровень концентрации в закрытом помещении, обеспечивающий надлежащее качество воздуха, который не должен превышать в течение всего времени, пока работник может подвергнуться вредному воздействию. Что касается воздействия цианистого водорода, цианида натрия, цианистого калия или цианида кальция, предельная концентрация для каждого из вышеперечисленных веществ составляет  $5 \text{ мг/м}^3$  (если речь идет о воздействии на кожный покров). Этот уровень содержания гораздо выше всех зарегистрированных уровней концентрации цианида в почве и воде. Опубликованных норм содержания цианида в окружающем воздухе нет.

### 3.5 Выводы

- Все зарегистрированные уровни концентрации цианида в атмосфере были ниже уровней, установленных нормативами промышленной гигиены/гигиены труда, считающихся безопасными. Вне пределов закрытых помещений происходит быстрая дисперсия HCN.
- Воздействие хлористого циана исключается, поскольку он не мог образоваться в значительном количестве. Расчетная максимальная концентрация хлористого циана составила  $0,01 \text{ мг/м}^3$ , что гораздо ниже пороговой концентрации, равной  $0,75 \text{ мг/м}^3$ , установленной ААГИПГ, и ниже российского норматива, предусматривающего уровень, равный  $0,2 \text{ мг/м}^3$  для воздуха в закрытых помещениях.
- Вероятность образования хлористого циана существовала по той причине, что показатель pH в среде был 8,5 (pH 8,5). Однако на участках с низкой концентрацией цианида добавлялся гипохлорит натрия, в результате чего хлористый циан образовывался в незначительном количестве или же вообще не образовывался.

- Не был зарегистрирован уровень концентрации цианида в почве, предполагающий вмешательство с целью обеспечения охраны здоровья человека (канадский норматив составляет 29 мг/кг). Следует отметить, что в ряде случаев низкие концентрации цианида в почве могут оказать неблагоприятное воздействие на земляных червей и другие виды почвенных беспозвоночных, а также на рост редиса, латука и кустовой фасоли. Однако потребление таких овощных культур не привело бы к отрицательным последствиям для здоровья человека или животных.
- Уровень концентрации цианида в р. Барскаун был потенциально высоким и мог оказать серьезное влияние на здоровье, по крайней мере в течение нескольких часов после разлива в том случае, если вода из реки использовалась в качестве питьевой воды. Результаты моделирования речного потока позволяют сделать вывод о том, что перенос цианидов от места происшествия до озера занял 4 часа. Количество времени, необходимое для того, чтобы р. Барскаун очистилась от цианида, составило примерно 10 часов.

## 4.0 ОВОЩНЫЕ КУЛЬТУРЫ

В научной литературе приводится мало данных о поглощении растениями цианида, содержащегося в почве. Уровень содержания цианида в цианогенных растениях частично обуславливается наличием питательных веществ, физических сенсоров и стадией роста данного растения. Таким образом, трудно установить взаимосвязь между уровнем концентрации цианида в растениях и окружающей эти растения почве. На основании имеющихся данных, касающихся кустовой фасоли, можно определить коэффициент бионакопления (имеется в виду отношение количества цианида в растении к количеству цианида в почве), который равен 0,8. Некоторые виды растений и особенно крестоцветные овощи, такие, как спаржевая капуста и цветная капуста, сами производят цианид. То же самое можно сказать и о большинстве плодоносящих растений (Приложение J).

Специалисты министерства охраны окружающей среды Канады изучили влияние цианида на всхожесть ростков редиса и латука в искусственной почве. Зарегистрированные в течение 3 дней средние показатели КНДНЭ, МКДНЭ, ЭК<sub>25</sub> и ЭК<sub>50</sub> составили для ростков редиса соответственно 0,9 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы, 1,9 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы, 1,3 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы и 2,9 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы. Зарегистрированные в течение 5 дней средние показатели КНДНЭ, МКДНЭ, ЭК<sub>25</sub> и ЭК<sub>50</sub> составили для ростков латука соответственно 5 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы, 10 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы, 7 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы и 13 мг CN<sup>-</sup>/кг почвы.

В соответствии с Канадскими нормами качества продуктов питания и лекарственных препаратов ПДК цианистого водорода в абрикосах составляет 25 частей на миллион, или 25 мг/кг. Цианид содержится в косточках абрикосов, а не в мякоти плодов. Вышеупомянутые уровни концентрации в ростках редиса значительно ниже этой предельно допустимой концентрации, не представляющей угрозы для здоровья человека. В соответствии с канадскими Требованиями к качеству пищевых продуктов и медикаментов предельно допустимый остаток

цианистого водорода, равный 25 частям на миллион, установлен для ряда других продуктов питания (Раздел 15, Таблица 2), в том числе для миндаля, ячменя, западной анакардии, бобов какао, кукурузы, обыкновенной фасоли, лимской фасоли, турецких бобов, арахиса, ореха-пекана, риса, ржи, грецкого ореха и пшеницы.

Цианогенные гликозиды встречаются во многих пищевых растениях, таких, как маниок и лимская фасоль, а также в семенах некоторых плодоносящих растений, таких, как персик. Учитывая наличие цианида, употребление в пищу большого количества маниока может привести к смертельному исходу, если маниок употребляется в сыром виде или приготавливается неправильно. То же самое, однако в меньшей степени, касается и лимской фасоли. Токсичность значительно снижается, если указанные культуры вначале чистятся, промываются в проточной воде для того, чтобы удалить цианоген, а затем варятся и/или подвергаются ферментации для инактивации энзимов и удаления цианида. В таких регионах, как Африка, где маниок является широко распространенным продуктом питания, перед употреблением в пищу его тщательно обрабатывают.

Анализ содержания цианида в овощах и фруктах, собранных в районе р. Барскаун после происшествия, показал, что концентрация варьировалась от 0,57 мг/кг до уровня ниже предела обнаружения (0,002 мг/кг) (Приложение К). Более высокая концентрация была зарегистрирована в абрикосах, что объясняется естественным присутствием цианида в абрикосах (Приложение J). В большинстве взятых проб концентрация цианида составила менее 0,02 мг/кг. В соответствии с канадским Законом о пищевых продуктах и медикаментах и канадскими Требованиями к качеству пищевых продуктов и медикаментов рекомендуемое содержание цианида в абрикосах не должно превышать 25 мг/кг. Концентрация цианида в пробах овощных культур и фруктов, взятых в районе разлива, была на несколько порядков ниже этого уровня, что свидетельствует о том, что разлив цианида 20 мая 1998 г. не оказал воздействия.

Были зарегистрированы случаи потребления детьми большого количества абрикосовых косточек, что привело к различным отрицательным последствиям неврологического характера, которые варьировались от жалоб на головную боль до погружения в коматозное состояние (Ласч и Эль Шава, 1981 г.). Серьезность последствий прямо зависела от количества съеденных косточек. Пациенты в коматозном состоянии были доставлены в больницу после потребления цианида в форме цианистого калия в количестве 15 мг CN<sup>-</sup>/кг (Лейбовиц и Шварц, 1948 г.), 7,6 мг CN<sup>-</sup>/кг (Гудхарт, 1994 г.), 114-229 мг CN<sup>-</sup>/кг (Касамо и др., 1993 г.) и 5,7 мг CN<sup>-</sup>/кг (Валензуела и др., 1992 г.).

#### 4.1 Выводы

- Возможно, местным посевам сельскохозяйственных культур (в Барскауне и Тамге) был причинен ущерб в результате того, что в период времени после разлива до 2 июня 1998 г. не использовались ирригационные системы из-за опасений загрязнения цианидом.

## 5.0 ПОВРЕЖДЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Цианид натрия оказывает сильное токсическое действие на животных и людей, чего нельзя сказать о его воздействии на растения. Специалисты Управления охраны окружающей среды США прекратили в 1997 году испытания на растениях, поскольку полученные к этому времени результаты свидетельствовали о том, что растения не поглощают цианид в сколько-нибудь значительном количестве, и концентрации цианида не поддавались измерению. Исследования, проведенные компанией "Дюпон" (1994 г.), показали, что цианид прочно связывается с почвой, что лишает цианид подвижности и препятствует его попаданию в растения. Таким образом, можно предположить, что цианид не повреждает растительность. По мнению специалистов Управления охраны окружающей среды США использование цианида натрия представляет для

растений незначительную опасность по сравнению с возможным воздействием на окружающую среду цианогенных соединений, встречающихся в природе (Приложение J), и влиянием естественных цианогенных процессов.

В период с 27 по 29 июня 1998 г. было проведено фитопатологическое обследование сельскохозяйственных культур, произрастающих в районах, прилегающих к реке Барскаун, и на территории 5 фермерских хозяйств в Дзеты-Огузском районе, а именно: в селах Тосор, Тамга, Барскаун, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек. Более подробно результаты обследования приводятся в Приложении L. Краткое изложение содержания приводится ниже.

### **5.1 Тосор**

Было обследовано семь участков на Комсомольской и Кенешской улицах с целью определить состояние абрикосовых деревьев, яблонь, картофеля и других овощей. Эти участки не орошались водой из реки Барскаун. Общее состояние произрастающих на них культур было квалифицировано как вполне удовлетворительное. Несколько (единичных) случаев усохших плодоносящих деревьев нельзя объяснить воздействием цианида, даже если предположить, что цианид попал в атмосферу. На некоторых участках было отмечено незначительное повреждение культур настоящей мучнистой росой и тлей. Опадание части небольших абрикосов и яблок вызвано физиологическими особенностями этих плодоносящих деревьев и спецификой весенне-летнего сезона 1998 года. Этот феномен отмечается на всей территории республики.

### **5.2 Тамга**

Было обследовано 400 га, занятых многолетними пастбищными культурами (экспарцетом), озимыми и яровыми. Все посевы высохли, поскольку поля не орошались с момента Барскаунской аварии. Состояние посевов на расположенных

рядом орошаемых полях было хорошее. Явных свидетельств болезней или заражения насекомыми не обнаружено.

### 5.3 Барскаун

Общая площадь пахотных земель в этом хозяйстве составляет 1 470 га, из которых 15 га приходится на богару (неорошаемые земли). Здесь выращиваются озимые и яровые культуры, многолетние пастбищные культуры (экспарцет), картофель и овощи. Ниже перечисляются обследованные участки.

1. 40 га полей, которые орошались водой, поступавшей с участка, где произошла авария (10 га – экспарцет, 30 га – пшеница). Признаков загрязнения цианидом не обнаружено. Кроме того, не обнаружено свидетельств заражения культур насекомыми-вредителями или болезнями. Общее замечание: в результате аварии все посевы высохли, поскольку вода была перекрыта на продолжительный период времени.
2. 2,5 га плодовых садов, которые орошались водой из реки Барскаун (1,2 га – абрикосы, 0,5 га – другие фруктовые деревья, 0,5 га – картофель). Признаков химического загрязнения не обнаружено. Состояние молодого сада было хорошее. Свидетельств заражения деревьев насекомыми или болезнями не обнаружено.
3. Участок А. Мамытова, расположенный на Кенешской улице, который поливался в первый день аварии на реке Барскаун. Совершенно очевидно, что частичное усыхание молодых абрикосовых деревьев не связано с химическим загрязнением, поскольку состояние остальной части сада хорошее. Замечены отдельные случаи поражения настоящей мучнистой росой и тлей.

4. 74 га в хозяйстве "ТОЛУК", занятые деревьями (среди них абрикосы, жердели, тополя, карагач, возраст 1-2 года). Хозяйство расположено рядом с рекой Барскаун. У всех деревьев отмечены признаки усыхания и увядания. Заявление местного фермера о том, что деревья усыхают в результате воздействия цианида, ничем не подкрепляется. На некоторых деревьях отмечены признаки васкулярного бактерицидного усыхания. Однако это никак не связано с общей обезвоженностью сельскохозяйственных культур.

#### 5.4 Чон-Дзаргылчак

Были обследованы фруктовые деревья на двух участках. Свидетельств или косвенных признаков загрязнения цианидом не обнаружено. На яблонях замечена тля и настоящая мучнистая роса, а на абрикосах – пятнышки. Кроме того, отмечено опадание части небольших плодов, что не является признаком загрязнения.

#### 5.5 Ак-Терек

В этом хозяйстве обследовано два плодовых сада. Ранее в Бишкек были доставлены пробы абрикосов с пятнышками, взятые в этих садах, где произрастает в общей сложности 100 деревьев, - абрикосы, яблони и груши. Как и в вышеупомянутых хозяйствах, здесь также не обнаружено свидетельств загрязнения цианидом. Утверждения владельцев садов о том, что их сады подверглись загрязнению цианидом (некоторые листья пожелтели, опадают небольшие плоды и т. д.), не имеют достаточных оснований. На плодоносящих деревьях отмечены последствия заражения тлей и обычной мучнистой росой.

#### 5.6 Выводы

- В результате дополнительного изучения растительности из этих районов специалисты Министерства сельского хозяйства и контроля за отходами Кыргызстана каких-либо свидетельств загрязнения цианидом не обнаружили (Приложение L).
  
- Не обнаружено каких-либо свидетельств прямого воздействия цианида на растительность на территории пяти следующих сел в Дзеты-Огузском районе: Тосор, Тамга, Барскаун, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.

## 6.0 РЫБА

Цианид – одно из химических веществ, оказывающих наиболее вредное воздействие на организм рыб. Чувствительность организма рыб к цианиду превышает чувствительность организма человека примерно в тысячу раз. Даже такие небольшие дозы, как 0,03 мг/л HCN, могут стать смертельными для чувствительных видов рыб, а доза, равная 0,2 мг/л является смертельной для большинства видов рыб. Следует подчеркнуть, что во всех случаях концентрация ниже летальной вызывает физиологическую и патологическую реакцию, в результате чего нарушаются не только плавательные, но и репродуктивные функции, что может привести к серьезной деформации мальков. Кроме того, подвергшаяся такому воздействию рыба становится легкой добычей для хищников (Таблица 3).

Таблица 3. Кратковременное, продолжительное и сублетальное токсическое воздействие цианида на рыб (Инглес, 1982 г.)

| ЛЕТАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ   |  | СУБЛЕТАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ                             |                                 |            |
|---|--|--|---------------------------------|------------|
| КРАТКОВРЕМЕННОЕ<br>(Динамичная ЛД <sub>50</sub> – 96 ч.)<br>мг/л CN | ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ<br>(Молодняк/Взрослые<br>особи)<br>мг/л CN | Функция или<br>орган,<br>подвергшиеся<br>воздействию | Характер воздействия            | Мг/л<br>CN |
| 0,05 – 0,2  | 0,0019 – 0,07  | Нерест   | Полное ингибирование,           | 0,005      |
|   |  | Образование икринок                                  | Сокращение на 42%               | 0,01       |
|   |  | Жизнеспособность икринок                             | Икринки не оплодотворены        | 0,065      |
|   |  | Сперматогенез  | Перманентное снижение           | 0,02       |
|   |  | Отклонения в эмбриональном развитии                  | Сильная деформация              | 0,07       |
|   |  | Выклев   | До 40% мальков не выклевывается | 0,01-0,1   |
|   |  | Плавательная функция                                 | При 6°C подавляется на 90%      | 0,015      |

Цианид не ведет себя как стойкое токсичное химическое соединение в окружающей среде и в нормальных условиях не причиняет долговременного ущерба среде обитания рыб. Благодаря повышенной чувствительности рыбы являются отличным биологическим индикатором, указывающим на присутствие цианида в воде. Если рыбы, подвергшиеся воздействию цианида, живы, значит, ни одной другой форме жизни не будет причинен вред.

Характер кратковременного воздействия зависит не только от общего содержания цианида в воде, но и от ряда других факторов, влияющих на химический состав воды, включая уровень концентрации растворенного кислорода, температуру, показатель pH, соленость и другие содержащиеся в воде компоненты (например, цинк, аммиак). Что касается реки Барскаун, особое значение в данном случае имеют температура и соленость. При понижении температуры на 12° С токсичность возрастает в три раза. Более того, при содержании ионов хлорида, равном семнадцати частям на тысячу (насыщенная морская вода), уменьшается время выживания.

Таблица 3. Уровни концентрации KCN и NaCN, являющиеся токсичными и смертельными для рыб.

| Рыба   | KCN                    |                          | NaCN                   |                          |
|--------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|        | Токсичная концентрация | Смертельная концентрация | Токсичная концентрация | Смертельная концентрация |
|        | 0,04-0,12              | 0,1-0,3                  | -                      | -                        |
| форель | 0,07 (72 ч.)           | -                        | -                      | 0,05 (124 ч.)            |
|        | -                      | 0,09                     | -                      | -                        |
|        | -                      | -                        | 0,3                    | 0,04 (1 ч.)              |
|        | -                      | -                        | -                      | 0,15 (96 ч.)             |

Большая часть мертвой рыбы была обнаружена в устье реки Барскаун и на берегу озера Иссык-Куль.

Анализ содержания цианида в организме рыб, собранных 22 и 23 мая 1998 года, показал, что концентрация цианида варьировалась от 1,5 мг/кг в организме небольших рыб, найденных в районе Барскаунского залива, до 0,45 мг/кг в организме отдельных особей форели, найденных в этом же районе (Приложение L).

## 6.1 Выводы

- В последующие после разлива дни произошло вторичное заселение мест обитания рыб, указывающее на низкий уровень концентрации цианида в реке Барскаун и озере Иссык-Куль после разлива. Это наблюдение подтверждает вывод о том, что речная/озерная среда является безопасной для использования с целью удовлетворения общественных нужд.
- Люди, использующие рыбу в своем рационе, не пострадают, поскольку рыба, подвергшаяся сильному воздействию цианида, погибла бы и была бы непригодна для употребления в пищу. Более того, даже в случае присутствия цианида в организме рыбы он был бы связан гемоглобином и не представлял бы опасность, если бы рыба употреблялась в пищу.

## 7.0 МОЛОКО

Свободный цианид легко попадает в организм сухопутных животных вместе с вдыхаемым воздухом и пищей, а также в результате контакта с кожным покровом и слизистой оболочкой. Чаще всего отравление цианидом сухопутных животных, особенно сельскохозяйственных животных, вызвано тем, что животные питаются растительностью, содержащей цианогенные гликозиды. Наибольшему риску подвергаются те животные, которые быстро пережевывают корм. Жвачные животные (например, крупный рогатый скот и овцы) в большей степени подвергаются воздействию цианогенных растений, чем другие животные (например, лошади и свиньи). Очевидно, это связано с более полным разрушением клеток растений бактериальными ферментами в организме жвачных животных. Представляется маловероятным, что цианид, поступивший в растения из почвы, представляет большую опасность для животных, чем цианид, уже присутствующий в природной среде в результате деятельности цианогенных растений ("Дюпон", 1994 г.).

Ветеринары провели патологическое и химико-токсикологическое исследование тел мертвых животных (коров и кур). Цианид не был обнаружен ни в одном из рассмотренных случаев (Министерство обороны РФ, 1998 г.). Таким образом, эти животные не могли погибнуть в результате воздействия цианида, попавшего в окружающую среду вследствие аварии. Дополнительный отчет о результатах ветеринарных исследований подтверждает выводы, сделанные Министерством обороны РФ, и приводится в Приложении М.

Случаи отравления цианидом, содержащимся в заглатываемых животными цианогенных растениях, чаще отмечаются во время засухи, когда животные менее разборчивы в корме. Кроме того, под воздействием неблагоприятных условий растения начинают вырабатывать больше цианогенных гликозидов. Процесс детоксикации протекает довольно быстро. Свидетельств бионакопления в

организме каких-либо видов не обнаружено. В организме большинства видов небольшие дозы цианида быстро разлагаются на безвредные продукты, в то время как большие дозы являются летальными. Таким образом, молоко, полученное от животных, которые, возможно, употребляли в корм цианогенные растения, было бы в любом случае обезврежено в течение нескольких дней после разлива цианида. Цианид не мог попасть в молоко сельскохозяйственных животных. Анализ проб молока, взятых 28 мая 1998 года, показал, что, действительно, цианида в молоке нет (Приложение N). Следовательно, цианид, попавший в окружающую среду в результате разлива, не представлял опасности с точки зрения пищевого отравления для тех, кто пил молоко.

#### **7.1 Выводы**

- В результате употребления молока или молочных продуктов, произведенных в рассматриваемом районе, воздействие цианида не отмечалось.

## 8.0 ОЗЕРО ИССЫК-КУЛЬ

Озеро Иссык-Куль, бессточное озеро овальной формы, расположенное на севере горной системы Тянь-Шань в Кыргызстане, является одним из самых больших горных озер мира. Озеро Иссык-Куль знаменито своей красотой и представляет большой интерес для ученых. Длина озера составляет 113 миль (182 км), а ширина доходит до 38 миль. Общая площадь поверхности озера - 2 445 кв. миль (6 332 кв. км). Глубина в отдельных местах доходит до 2 303 футов, а общий объем озерной воды равен 416 куб. милям. "Иссык-Куль" означает "горячее озеро". Такое название озеро получило потому, что зимой оно не замерзает, хотя расположено на высоте 5 278 футов над уровнем моря.

Так как Иссык-Куль – озеро большого размера, можно предположить, что в результате разбавления максимальная концентрация цианида будет крайне незначительной. 21 мая 1998 г. уровень концентрации цианида в озере был в пределах 0,11 мг/л - 0,36 мг/л в районе устья р. Барскаун. В пробах воды, взятых 28 мая 1998 г. в заливе рядом с местом впадения в озеро реки Барскаун, цианид не обнаружен (<0,001 мг/л). Результаты дополнительных исследований подтверждают вывод о том, что в районе озера Иссык-Куль более не существует опасности для окружающей среды или здоровья человека, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

### 8.1 Выводы

- Озеру Иссык-Куль не причинен ни краткосрочный, ни долговременный ущерб. Цианид растворился в большом объеме озерной воды, его концентрация упала ниже уровня обнаружения (<0,001 мг/л) и была ниже допустимых международных норм качества питьевой воды. Озеро Иссык-Куль по-прежнему является чистым водоемом, представляющим национальное достояние.

## 9.0 КАНЦЕРОГЕННОСТЬ, МУТАГЕННОСТЬ, ТЕРАТОГЕННОСТЬ, ВЛИЯНИЕ НА РЕПРОДУКТИВНУЮ ФУНКЦИЮ И НЕЙРОТОКСИЧНОСТЬ

### 9.1 Канцерогенность

Сведений об исследованиях канцерогенного влияния на животных и эпидемиологических исследованиях, касающихся канцерогенного влияния на людей, нет. Вместе с тем, тот факт, что цианид не обладает мутагенным потенциалом, дает основание предположить, что, возможно, цианид не оказывает канцерогенного воздействия на животных или людей.

Данных о реакции организма человека или экспериментальных животных, на основании которых можно было бы сделать вывод относительно канцерогенного потенциала свободного цианида, нет. В соответствии с порядком классификации веществ, принятым Управлением по опасным химическим соединениям Министерства здравоохранения Канады (1994 г.) свободный цианид "не подлежит классификации с точки зрения канцерогенного воздействия на людей" (Группа VI. B). Таким образом, свободный цианид рассматривается в качестве вещества, уровень критического воздействия которого определяется на основании порога вредного воздействия, устанавливаемого в соответствии с нормами качества почв, обеспечивающими охрану здоровья человека.

Кроме того, в специальной литературе нет сведений о результатах изучения кратковременного воздействия цианида, указывающих на то, что в этом случае канцерогенность цианида является проблемой с точки зрения влияния на здоровье.

### 9.2 Мутагенность

Испытания цианидов на мутагенность и влияние на синтез ДНК *in vivo* дали отрицательные результаты (Дефлора, 1981 г.; Дефлора и др., 1984 г.; Овайс и др., 1985 г.; Софуни и др., 1985 г.), за исключением испытаний, проведенных Куши и др. (1983 г.), в ходе которых было зафиксировано незначительное мутагенное воздействие HCN в штамме *S. typhimurium*, не сопровождаемое метаболической активацией.

*In vivo* изучение мышей показало, что введение одноразовой пероральной дозы 1 мг/кг цианида в виде цианистого калия не оказало ингибирующего воздействия на тестикулярный синтез ДНК (Фридман и Штауб, 1976 г.). Эти результаты свидетельствуют о том, что цианид, особенно в виде цианистого калия, не является мутагенным соединением. В специальной литературе нет сведений о результатах изучения острого воздействия цианида, указывающих на то, что мутагенность цианида является проблемой с точки зрения влияния на здоровье.

### 9.3 Тератогенность

В специальной литературе нет свидетельств того, что цианид может непосредственно вызывать врожденные дефекты. В результате эпидемиологических исследований в районах Заира, где местное население широко употребляет в пищу маниок, у 15% новорожденных был обнаружен врожденный гипотиреоз. Коэффициент заболеваемости врожденным гипотиреозом в этих районах Заира в 500 раз превышает этот показатель в промышленно развитых странах (Эрманс и др., 1980 г.). Очевидно, этому способствует нехватка йода в организме и постоянное высокое содержание тиоционата в результате потребления в пищу маниока.

У крыс, которых кормили корнями маниока, отмечались пороки развития. Беременным крысам давали с 1 по 15 день беременности смолотый в порошок корень маниока, который составлял 50% и 80% получаемого корма. При этом

контрольные особи получали коммерческий корм (Сингх, 1981 г.). В ходе эксперимента у материнских особей отмечалось уменьшение веса, обусловленное величиной дозы. На 20 день беременности плоды собрали. У крыс, которым давали корм, на 80% состоящий из маниока, отмечена большая смертность плодов (19%). При этом у 28% плодов были отмечены отклонения от нормы. В числе таких отклонений – повреждение конечностей, открытые глаза, микроцефалия, замедление развития. У плодов крыс, которым давали корм, на 50% состоящий из маниока, было отмечено только малый вес. У плодов контрольных крыс не было отмечено резорбции или мальформации. Поскольку в материалах эксперимента не указаны конкретные дозы или уровни концентрации цианида, рассчитать фактический уровень воздействия и/или УНДНЭ не представляется возможным.

В специальной литературе нет сведений о результатах изучения кратковременного воздействия цианида, указывающих на то, что в этом случае тератогенность цианида является проблемой с точки зрения влияния на здоровье.

#### 9.4 Влияние на репродуктивную функцию

Свидетельств того, что цианид может непосредственно воздействовать на репродуктивную функцию человеческого организма, нет. Тем не менее, было отмечено отрицательное воздействие на репродуктивную систему организма крыс и мышей, которые пили воду, содержащую цианид натрия (Министерство здравоохранения и медицинского обслуживания населения США, 1997 г.). В ходе эксперимента по изучению влияния на репродуктивную систему самкам крыс давали в качестве основного рациона маниок, содержащий 12 мг/кг HCN или маниок, содержащий цианид (500 частей на миллион, 1,25 KCN/кг корма). Эти дозы давались крысам за 20 дней до спаривания и вплоть до прекращения лактации (Теве и Манер, 1981а). После отъема двум произвольно выбранным из каждого выводка крысятам женского пола в течение 28 дней давали экспериментальное питание. Отъемыши, которым давали корм с KCN, ели

значительно меньше, у них отмечалось существенное замедление роста. Причем это происходило независимо от того, подвергались ли они ранее воздействию цианида или нет. У отъемышей, подвергшихся более сильному воздействию цианида *in utero* и в течение 28 дней после отъема, было отмечено значительное снижение коэффициента белковой эффективности. В период лактации у лактирующих крыс и потомства отмечалось существенное увеличение содержания тиоцианата в сыворотке. То же самое отмечалось после отъема у крыс, которым добавляли в корм KCN. Представляет интерес тот факт, что это никак не повлияло на роданистую активность в почках и печени.

Теве и Манер (1981b) провели эксперимент с кормлением групп из шести беременных йоркширских свиней начиная со следующего дня после осеменения и вплоть до родов. Было разработано два варианта питания: рацион (контрольный) с небольшим содержанием цианида в маниоке (30,3 мг CN/кг корма или 0,88 мг CN/кг веса тела/день) и рацион, состоящий из маниока с общим содержанием цианида 276 или 520,7 мг CN/кг корма. На 110-й день беременности в каждой группе было забито по две свиноматки. Извлеченные плоды были взвешены, после чего был установлен уровень содержания тиоцианита. Количество и вес плодов (возраст 110 дней) были сопоставимы. У свиноматок и плодов из группы, которую кормили рационом с цианидом в количестве 520,7 мг CN/кг, было отмечено незначительное повышение содержания тиоцианата в сыворотке. Содержание йода, связанного с сывороткой, понизилось в период беременности во всех группах. В результате гистопатологического исследования была установлена пролиферация гломерулярных клеток в почках свиноматок во всех группах и ослабление работы щитовидной железы у свиноматок, которым давали корм с цианидом в количестве 520,7 мг CN/кг. Как уже говорилось в описании опытов над крысами, дозы, которые вводились вместе с кормом, содержащим цианид, составляли примерно 10 и 17 мг CN/кг веса тела/день соответственно для групп, которым давались дозы, равные 276 и 520 мг/кг

(использованные значения веса тела – 170,8 и 183,5 кг; использованные значения потребления корма – 5,67 и 6,17 кг/день).

Оставшимся свиноматкам давался соответствующий рацион вплоть до родов, после чего их стали кормить кукурузой и соевыми бобами. После окончания лактации, продолжавшейся 21 день, у свиноматок и поросят были взяты пробы крови для определения уровня содержания тиоцианата, белков и связанного с белками йода. В результате анализа было выявлено значительное увеличение ( $p < 0,05$ ) содержания тиоцианата в сыворотке свиноматок. Следует отметить, что такое увеличение не произошло у поросят от тех свиноматок, которым давали корм с цианидом в количестве 500 частей на миллион. Существенной разницы в уровне содержания белков и белково-связанного йода не было.

Авторы эксперимента пришли к выводу, что уровень содержания цианида в корме, равный 520,7 мг/кг, не повлиял на получение первого помета от свиноматок. Однако были отмечены различия метаболического и патологического характера. У свиноматок, которым в течение первых 110 дней беременности давали маниок вместе с KCN в количестве 500 мг CN/кг корма, были отмечены гистопатологические изменения в щитовидной железе. У свиней, которым добавляли в рацион 250 мг CN/кг корма, гистопатологическое воздействие на щитовидную железу не отмечено. Следует подчеркнуть, что с учетом ограниченного числа животных/групп (только по шесть свиней в группах, которым давали разные дозы), результаты этого эксперимента не были использованы для определения УНДНЭ (Министерство здравоохранения Канады, 1995 г.), который мог бы использоваться в канадских Требованиях к качеству почв с целью определения уровней воздействия на здоровье человека (цианид).

В специальной литературе нет сведений о результатах изучения кратковременного воздействия цианида, указывающих на то, что в этом случае

влияние цианида на функционирование репродуктивной системы является проблемой с точки зрения охраны здоровья.

## 9.5 Нейротоксичность

Складывается впечатление, что цианид оказывает наибольшее токсическое воздействие на центральную нервную систему, что отчасти объясняется ее высокими метаболическими потребностями. Каких-либо сведений об исследованиях, посвященных исключительно проблеме нейротоксичности, обнаружить не удалось. Вместе с тем в ряде исследований центральная нервная система являлась одним из объектов изучения.

Высокая концентрация цианида в организме животных может привести к смертельному исходу в результате поражения центральной нервной системы, что может вызвать остановку дыхания (Управление по токсическим веществам и регистрации болезней – УТВРБ, 1993). Эксперименты над животными, в ходе которых цианид вводился перорально или попадал в организм вместе с вдыхаемым воздухом, показали, что воздействие цианида вызывает энцефалопатию (Левайн и Стипулковский, 1959а; Левайн, 1967; Хирано, 1967). Были повреждены глубоко лежащее церебральное белое вещество, корпус каллосум, гиппокамп, корпоры стриата, палладиум и субстанция ниграр. Более высокая чувствительность белого вещества мозга может обуславливаться сравнительно низким содержанием цитохром-оксидазы (УТВРБ, 1993). Представляет интерес тот факт, что последствия влияния CNS отмечались как после кратковременного воздействия (Левайн и Стипулковский, 1959а,б), так и после более продолжительного воздействия (Хертинг и др., 1960).

Цианиды оказывают токсическое воздействие и на центральную нервную систему человеческого организма. Характер неврологических последствий

отравления цианидом может зависеть от количества цианида, поступившего в организм человека. Как правило, установить точную дозу невозможно. Например, у больного, случайно выпившего неуставленное количество жидкости, содержащей 6,9% цианида натрия и 2,3% цианида серебра, отмечался тремор (Чен и Роуз, 1952). Были зарегистрированы случаи потребления детьми большого количества абрикосовых косточек, что привело к различным отрицательным последствиям неврологического характера, которые варьировались от жалоб на головную боль до погружения в коматозное состояние (Ласч и Эль Шава, 1981 г.). Серьезность последствий прямо зависела от количества съеденных косточек. Пациенты в коматозном состоянии были доставлены в больницу после потребления цианида в форме цианистого калия в количестве 15 мг CN<sup>-</sup>/кг (Лейбовиц и Шварц, 1948 г.), 7,6 мг CN<sup>-</sup>/кг (Гудхарт, 1994 г.), 114-229 мг CN<sup>-</sup>/кг (Касамо и др., 1993 г.) и 5,7 мг CN<sup>-</sup>/кг (Валензуела и др., 1992 г.).

Установлено, что длительное воздействие низких концентраций цианида в результате употребления в пищу маниока (а также, возможно, в результате вдыхания табачного дыма) может вызвать тропическую нефропатию, табачную амблиопию и атрофию зрительного нерва (синдром Лебера) (Фриман, 1988). По мнению некоторых специалистов эти заболевания могут быть также частично вызваны нарушением процессов метаболического преобразования цианида в тиоцианат, а также дефицитом таких питательных веществ, как белки и витамин B<sub>12</sub> (Мони, 1958; Макене и Вильсон, 1972; Конн, 1973; Грант, 1980; Осунтокун и др., 1969; Осунтокун, 1972, 1980; Монекоссо и Вильсон, 1966). Отмечены также случаи острого замедленного воздействия на нервную систему (симптомы похожи на признаки болезни Паркинсона), которые были связаны с такими процедурами, как компьютерная аксиальная томография и снятие электроэнцефалограмм (Грандас и др., 1989; Уиттл и др., 1985; Фельдман и Фельдман, 1990; Кадашин и др., 1988).

По мнению некоторых авторов, избирательный характер развития энцефалопатии на отдельных участках в результате воздействия цианида обуславливается интенсивностью острой интоксикации и разветвленностью церебрально-сосудистой системы (Левайн, 1967). По мнению других авторов, невысокий уровень  $\text{CO}_2$  может вызвать вазоконстрикцию и уменьшение притока крови в мозг, что, в свою очередь, может вызвать церебральные нарушения вследствие наступления цитотоксической или гипоксической гипоксии (в результате нарушения поступления кислорода) (УТВРБ, 1993). Как свидетельствуют результаты ряда недавних исследований, нарушение регулирования уровня содержания кальция в нервных клетках может являться важным признаком нейротоксических нарушений в результате острого отравления цианидом (УТВРБ, 1993). Как бы то ни было, имеется достаточно свидетельств того, что цианиды могут не только непосредственно воздействовать на центральную нервную систему, но и оказывать косвенное влияние, замедляя процессы окисления.

В специальной литературе нет сведений о результатах изучения кратковременного воздействия цианида, указывающих на то, что в этом случае нейротоксичность представляет собой проблему с точки зрения влияния на здоровье.

## 9.6 Выводы

- Поскольку в рассматриваемом случае речь идет о кратковременном воздействии, а не о постоянном или длительном воздействии, такое воздействие не может вызвать у людей нарушения, имеющие канцерогенный, мутагенный, репродуктивный или нейротоксический характер.

## 10.0 ВОПРОСЫ МЕДИЦИНСКОГО ХАРАКТЕРА

Ниже перечисляются признаки легкого отравления или начальной стадии отравления цианидом:

- (i) общая слабость, тяжесть в руках и ногах
- (ii) затрудненное дыхание
- (iii) головные боли, головокружение, тошнота и рвота
- (iv) выдыхаемый воздух может иметь запах горького миндаля
- (v) раздражение в полости рта, в носе и горле

Ниже перечисляются признаки тяжелого отравления цианидом:

- (i) тошнота и рвота
- (ii) прерывистое дыхание
- (iii) потеря сознания
- (iv) судороги

### 10.1.1 Диапазон токсичности – прием внутрь

Без принятия соответствующих мер прием внутрь взрослым человеком 200-300 мг солей цианида или 50 мг цианистоводородной кислоты может привести к смертельному исходу. Зарегистрирован случай тяжелого отравления в результате приема внутрь всего лишь 50 мг цианистого калия. Известны случаи, когда пациенты выживали даже тогда, когда доза цианистого калия составляла 1 и более граммов. Серьезное отравление обычно наступает, когда уровень содержания цианида в крови организма составляет 1,0 мкг/мл и более. Если уровень содержания цианида в крови составляет 3,0 мкг/мл и более, пациенты, которым не была оказана соответствующая помощь, могут умереть.

Самая низкая зарегистрированная доза цианида натрия, являющаяся токсичной для человека (вызывает галлюцинации, нарушение восприятия окружающего мира и слабость), составляет 714 мкг/кг, или около 50 мг для взрослого человека весом 70 кг. Самые низкие зарегистрированные дозы цианида, являющиеся смертельными для человека, составляют 2 800-6 557 мкг/кг, или от 196 до примерно 459 мг для взрослого человека весом 70 кг. Во время расследования совершенного в 1982 году в Чикаго преступления, заключавшегося в манипуляциях с ацетаминофеном и цианидом, было установлено, что содержание цианистого калия в оставшихся капсулах, помещенных в упаковки, которые использовали умершие пациенты, составило 117-858 мг.

#### 10.1.2 Диапазон токсичности – воздействие на кожный покров

Цианид может проникать в организм через кожу в количествах, достаточных для того, чтобы вызвать серьезное отравление или смерть. Однако такие случаи встречаются редко. Имеются данные о случаях погружения всего тела в емкость с концентрированным раствором соли цианида (как правило, это сопровождалось воздействием в результате вдыхания или проглатывания) и обильного смачивания тела концентрированным раствором цианида в закрытом пространстве, когда не снималась зараженная одежда, или в результате воздействия на всю поверхность тела концентратом соли цианида (например, пациент оказался погребенным под рассыпанным цианидом кальция), а также в результате ожога значительной части поверхности тела жидким цианидом натрия. Контакт кожного покрова с разбавленными растворами (например, 0,1 - 0,2% растворами, применяемыми в клинических лабораториях), как правило, не вызывает отравления.

#### 10.2 Неблагоприятное воздействие противоядий от цианида

Необходимо поставить четкий диагноз отравления цианидом. Неверный диагноз и неправильное применение лекарственных препаратов (таких, как,

например, амилнитрит), могут оказать негативное воздействие на здоровье пациента.

В число антидотов, используемых во многих странах мира, входят амилнитрит, азотистокислый натрий, тиосульфат натрия, растворы глюкозы, оксикоболамин, метиленовый синий и хромоомона. Следует отметить, что последние два антидота применяются в настоящее время редко. В последние годы появились новые антидоты, например, антициан и др.

### 10.2.1 Амилнитрит

Ампулы с амилнитритом вскрываются в марле и подносятся близко к носу и рту спонтанно дышащего пациента. Их можно также поместить в отверстие на маске для лица или же внутрь дыхательного мешка аппарата для реанимации. Амилнитрит должен вдыхаться 30 секунд в течение каждой минуты. Новая ампула с амилнитритом используется через каждые 3-4 минуты до тех пор, пока не будет обеспечен внутривенный доступ. В некоторых случаях применение амилнитрита в сочетании с механической кислородной вентиляцией помогало привести в чувство рабочих, потерявших сознание в результате вдыхания цианистого водорода. В одном из таких случаев пострадавший рабочий смог тут же вернуться на рабочее место и завершить свою смену.

Применение амилнитрита может вызвать такие отрицательные последствия, как гипотония (пониженное кровяное давление), что является следствием сосудорасширяющего действия амилнитрита, и сердечная аритмия. Амилнитрит преобразует часть гемоглобина (красной пигмент, переносящий кислород от легких к тканям организма) в метгемоглобин (одну из форм гемоглобина, которая не может сцепляться с молекулами кислорода или переносить кислород). Намеренное чрезмерное использование амилнитрита приводило к развитию метгемоглобинемии, в результате чего отмечались признаки и симптомы гипоксии

(нехватки кислорода в тканях), а в некоторых случаях наступала смерть. В числе других возможных отрицательных последствий – головные боли, тошнота, рвота, учащенное сердцебиение, затрудненное дыхание, цианоз (посинение кожи и слизистой оболочки в результате спровоцированной метгемоглобинемии) и головокружение.

### 10.2.2 Азотистокислый натрий

После того, как установлен оперативный внутривенный доступ, вдыхание амилнитрита прекращается и осуществляется внутривенное введение – из расчета на взрослого – дозы азотистокислого натрия, равной 300 мг (одна 10 мл ампула 3% раствора). В педиатрии используется доза 0,12-0,33 мл/кг. Доза для детей, страдающих анемией, может подбираться индивидуально, поскольку азотистокислый натрий также стимулирует выработку в организме метгемоглобина. В дальнейшем титрование доз азотистокислого натрия осуществляется в зависимости от клинической реакции (выход из состояния комы, нормализация пульса и кровяного давления, прекращение судорог, восстановление кислотно-основного равновесия в крови, нарушенного метаболическим ацидозом, вызванным отравлением цианидом).

Азотистокислый натрий – эффективное сосудорасширяющее средство. Быстрое введение этого препарата может вызвать значительное понижение артериального давления. При введении дозы азотистокислого натрия внутривенно, это следует делать медленно, в течение по крайней мере 5 минут. Кроме того, азотистокислый натрий можно разбавить в 50-100 мл D5W и вводить со скоростью, которая не вызывает гипотонии или не приводит к дальнейшему понижению артериального давления.

Редкие случаи индуцирования чрезмерного количества метгемоглобина чаще всего являются результатом введения слишком больших доз азотистокислого натрия, что приводило к смерти детей, которым по ошибке вводили дозы из

расчета на взрослого. Уровень содержания метгемоглобина должен составлять менее 30% от общего содержания гемоглобина.

Помимо этого, другие отрицательные последствия применения азотистокислого натрия включают все последствия, которые упоминались в связи с применением амилнитрита, а также нарушение зрения, обморочное состояние и судороги.

### 10.2.3 Тиосульфат натрия

После введения азотистокислого натрия постепенно, в течение нескольких минут, внутривенно вводится доза тиосульфата натрия – из расчета на взрослого – равная 12,5 г (одна 50 мл ампула 25% раствора). Детская доза составляет 1,65 мл/кг. Имеются сведения только об одном случае альтернативного режима дозирования, когда пациенту в течение 24 ежечасно вводили 1 грамм тиосульфата натрия.

За десятилетия клинического применения тиосульфата натрия в рекомендованных дозах не было зарегистрировано каких-либо существенных отрицательных последствий. В ходе экспериментов с участием добровольцев были зафиксированы случаи, когда тиосульфат натрия вызывал тошноту, рвоту, головокружение и неприятные ощущения в точках ввода.

Теоретически превышение рекомендуемых доз может вызвать гипернатриемию (повышенное содержание натрия в крови) и гиперосмолялитию (повышенную концентрацию растворенных в крови веществ), результатом чего могут стать дезориентация, бессоница, кома, судороги, нарушение работы сердца, метаболический ацидоз, респираторный паралич и смерть.

#### 10.2.4 Антициан

Антициан (4-аминофен) является активным метгемоглобинообразователем и используется вместо амилнитрита. При отравлении цианидами первое введение антициана в виде 20% раствора производится в объеме 1,0 мл внутримышечно или 0,75 мл внутривенно. При внутривенном введении препарат разводят в 10,0 мл 25-40% раствора глюкозы или 0,9% хлорида натрия. Скорость введения – 3 мл в минуту. При необходимости через 30 мин. антидот может быть введен повторно в дозе 1,0 мл, но только внутримышечно. Еще через 30 мин. при необходимости можно осуществить третье введение такой же дозы. Такая схема введения обеспечивает содержание метгемоглобина на уровне 25-30%. Осложнения в результате передозировки антициана носят такой же характер, как и при введении избыточной дозы амилнитрила (Военная токсикология, радиология и медицинская защита, 1987 г.).

#### 10.2.5 Оксикоболамин

Механизм антидотного действия гидроксикоболамина связан со способностью оксикоболамина взаимодействовать со свободным цианидом, в результате чего образуется цианкоболамин (витамин В-12). Следует подчеркнуть, что витамин В-12, широко применявшийся в качестве "антидота" при оказании медицинской помощи жителям поселков Барскаун и Тамга, на самом деле не обладает антидотными свойствами. Более того, он может вызвать аллергическую реакцию. Для подготовки инфузионного раствора оксикоболамина 0,1 г этого антидота разводят в 100 мл 5% раствора глюкозы. В зависимости от степени отравления суммарная доза препарата может достигать 5-10 грамм. Применение оксикоболамина может вызвать аллергическую реакцию (Лекарственные препараты. Под редакцией М. Д. Машковского, 1996 г.).

Острое смертельное отравление цианидами может протекать как в очень быстрой, так и в замедленной форме. В первом случае смерть наступает в течение 3-5 минут. Замедленная форма отравления приводит к смертельному исходу через 20-30 минут. Ниже приводится описание быстро развивающейся формы отравления.

Источник, из которого приведены выдержки, касающиеся симптомов и лечения отравлений цианидом: "Клиническая токсикология коммерческих продуктов", Госселин и др. (1984 г.).

#### *Симптомы:*

- 1. Большие дозы могут привести, без каких-либо предварительных сигналов, к внезапной потере сознания и вызвать быструю смерть в результате остановки дыхания. При введении меньших доз, которые по-прежнему являются летальными, заболевание может длиться 1 час и дольше.*
- 2. При приеме внутрь иногда чувствуется горький и резкий привкус и жжение, вслед за чем возникает ощущение, что горло перехватило или что оно онемело. Может наблюдаться слюноотделение, тошнота и рвота. Благодаря высокой щелочности растворы цианида натрия и цианистого калия являются коррозионными (агрессивными) растворами. Затем наблюдаются другие симптомы, которые быстро сменяют друг друга по нарастающей.*
- 3. Состояние беспокойства, дезориентация, вертиго, головокружение, часто ощущение тугоподвижности нижней челюсти.*
- 4. Гиперния и одышка. Дыхание учащается, затем замедляется и становится неровным. Вдохи становятся короче, что характерно для этой стадии, а выдохи производятся гораздо медленнее.*

5. *Запах изо рта или рвотные массы могут отдавать горьким миндалем. Этот признак иногда помогает установить диагноз. Однако у многих людей (от 20 до 40 процентов) отмечена врожденная невосприимчивость запаха HCN (например, Де Баск и Сейдл, 1969).*
6. *На ранней стадии отравления усиление сосудосуживающего действия вызывает повышение кровяного давления и нарушение рефлекторных реакций. Пострадавший чувствует учащенное сердцебиение; у него перехватывает в груди. Сильное порозовение кожи, вызванное высокой концентрацией оксигемоглобина в венозном возврате, можно спутать с симптомом отравления угарным газом.*
7. *Потеря сознания, после чего через короткий промежуток времени начинаются сильные эпилептиформные или тонические судороги, иногда локальные, но чаще общие. Может развиваться опистотонус и тризм. Происходит непроизвольное мочеиспускание и дефекация.*
8. *Вслед за судорогами наступает паралич. Кожа покрывается потом. Глазные яблоки выпячиваются, зрачки расширяются, не двигаются. На губах пена, иногда с кровью, что свидетельствует об отеке легких (Грэхэм и др., 1977, Стюарт, 1974). Может наблюдаться покраснение кожи с характерным коричневатым оттенком. Несмотря на слабое и неровное дыхание цианоз не развивается. Основными симптомами для постановки диагноза пациентам, находящимся в бессознательном состоянии, являются брадикардия и отсутствие цианоза.*
9. *Смерть в результате остановки дыхания. До тех пор, пока продолжает биться сердце, быстрое и активное вмешательство дает шанс спасти пациента.*

*Медицинская помощь (должна оказываться оперативно):*

- 1. Если у пациента отсутствуют симптомы, используйте сироп ипекакуаны и/или сделайте промывание желудка. Активированный уголь применять не следует, поскольку имеющиеся данные свидетельствуют о том, что он не является эффективным средством нейтрализации цианида (Андерсен, 1946). См. ниже пункт 9.*
- 2. Если у пациента отмечается апноэ, незамедлительно начните искусственную вентиляцию легких и обеспечьте свободную проходимость дыхательных путей.*
- 3. Пока будет готовиться раствор азотистокислого натрия, осуществляйте ингаляционный ввод амилнитрита (ампулы с амилнитритом). Ингаляция 15-30 секунд в течение каждой минуты. Проверьте срок годности, указанный на ампулах, и используйте самые свежие партии. Хранящиеся ампулы следует ежегодно заменять.*
- 4. Прекратите ингаляционный ввод амилнитрита и сразу же введите внутривенно 10 мл 3% раствора азотистокислого натрия (введение осуществляется постепенно в течение 2-4 минут). При необходимости введите нестерильный раствор. Не вынимайте иглу. Внимание: эта доза азотистокислого натрия может быть смертельной для детей младшего возраста и поэтому ее следует рассчитать на вес тела ребенка (Берлин, 1970).*
- 5. Через эту же иглу введите внутривенно 50 мл 25% водного раствора тиосульфата натрия. Введение следует осуществлять в течение примерно 10 минут. Допускается другая концентрация раствора (от 5 до 50%), если*

суммарная доза препарата остается в пределах 12 г. Срок годности инъеклируемых форм нитрита и тиосульфата составляет 5 лет.

6. Положительный эффект может дать оксигенотерапия, осуществляемая в сочетании с применением нитрита и тиосульфата натрия.
7. В случае остановки сердца следует прибегнуть к открытому массажу сердца и использованию электрокардиостимулятора.
8. При возобновлении симптомов можно вновь ввести нитрит и тиосульфат, причем в этом случае дозы должны составлять половину вышеупомянутых доз. При очень тяжелых отравлениях более безопасным и, возможно, более эффективным способом лечения является неоднократное введение тиосульфата, а не нитрита.
9. Учитывая скорость абсорбции и быстрое чередование симптомов промывание желудка редко дает желаемый эффект. Это следует делать не раньше, чем будут выполнены действия, описанные в пунктах 2-5. Лучшей промывной жидкостью является слабый раствор марганцовокислого калия (1:5 000). Однако, с точки зрения наличия в нужный момент, очевидно, быстрее можно будет воспользоваться в этих целях водопроводной водой или слабым раствором гидрокарбоната натрия.
10. Если процессы метгемоглобинемии, вызванные воздействием нитрита, протекают слишком активно, может возникнуть необходимость в оксигенотерапии и полном переливании крови. В ходе экспериментов над лабораторными животными уже только одно обменное переливание крови повышало выживаемость (Таубергер и др., 1974).

### 10.3 Воздействие цианида на людей

В настоящее время нам известно о примерно 2 600 случаях воздействия цианида на людей в результате разлива, произошедшего в районе р. Барскаун, четыре из которых привели к смертельному исходу. Мы попытались проверить правильность диагнозов, поставленных такому большому количеству людей, запросив у Министерства здравоохранения Кыргызстана копии их медицинских карточек и историй болезни. Запрос был направлен вначале через Посольство Канады и затем через компанию "Кумтор Оперейтинг Кампани". Поскольку до настоящего времени мы так и не получили доступа к этой информации, мы не можем дать оценку диагнозам, поставленным в отдельных случаях.

Вместе с тем в целом можно утверждать, что в подавляющем большинстве вышеупомянутых случаев был поставлен неверный диагноз. Подавляющее большинство этих случаев не было результатом отравления цианидом. Данный вывод сделан на основании анализа возможных путей воздействия цианида в результате аварии на р. Барскаун.

#### 10.3.1 Воздействие атмосферы

В первые часы после разлива, возможно, существовала какая-то вероятность атмосферного воздействия. Однако работники компании "Кумтор", находящиеся на месте аварии в эти часы во время извлечения грузовика и контейнера из реки, такому воздействию не подвергались. На основании расчетов можно сделать вывод о том, что пиковая концентрация цианида в атмосфере могла сохраняться менее часа. При этом можно предположить, что наивысшая концентрация цианида, равная  $7.3 \text{ мг/м}^3$ , была в районе, расположенном ниже по течению реки сразу же за мостом, где произошла авария, при условии, что воздушные массы перемешались вверх по речной долине. Таким образом, несмотря на существование в течение короткого промежутка времени возможности атмосферного воздействия, в прилегающих к реке районах такого

воздействия не было или оно было незначительным, так как в противном случае этому воздействию подверглись бы работники группы реагирования "Кумтора", устраняющие последствия разлива. На участках, расположенных в 100 метрах от реки (при условии, что воздушная масса перемешалась не вдоль, а поперек течения реки), расчетная пиковая концентрация цианида в атмосфере в районе устья могла составить около  $0,1 \text{ мг/м}^3$  и могла сохраняться в течение одного часа (Приложение Н).

### 10.3.2 Воздействие водной среды

Во время разлива существовала вероятность значительного воздействия на людей в результате контакта с водой как в самой реке, так и в ирригационных каналах. Однако за исключением нескольких возможных случаев этого не произошло. Основным потенциальным источником такого воздействия стал бы дренажный канал, по которому вода поступает в Барскаун. Однако количество цианида, фактически попавшего в этот канал, было сравнительно небольшим. Мы можем установить это, исходя из уровня концентрации цианида в почве расположенных в этом районе орошаемых полей. Многочисленные анализы, сделанные различными организациями, не свидетельствуют о повышенном содержании цианида в почве. Цианид прочно связывается с почвой и, таким образом, в результате анализа почвы можно установить районы сильного воздействия (Раздел 3.2-3, Приложение Е). Более того, в почве орошаемых полей, расположенных в Барскауне и Тамге, не было обнаружено высокой концентрации цианида. Соответственно, это означает, что высокой концентрации цианида не было и в воде, которой орошают эти поля. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в вышеупомянутый канал попало незначительное количество цианида: большая часть цианида поступила вместе с речной водой в озеро Иссык-Куль.

Вышесказанное означает, что содержание цианида в воде, поступающей в Барскаун и Тамгу, было недостаточно высоким для того, чтобы представлять опасность для здоровья человека. Вместе с тем следует подчеркнуть, что

существует вероятность воздействия цианида на людей, живущих в районах, расположенных вдоль самой реки. Особенно это касается тех нескольких семей, которые живут на озере в месте впадения реки Барскаун.

Как бы то ни было, поскольку время, за которое масса речной воды в водотоке может переместиться от места аварии до озера, составляет всего около четырех часов, опасная концентрация цианида могла существовать лишь в течение первого дня после разлива (возможно, в течение более короткого времени). Поскольку цианид является сильным быстродействующим токсическим веществом, если люди не отравились в течение вышеупомянутого промежутка времени, это значит, что они не подверглись воздействию значительных концентраций цианида. Только случаи, о которых стало известно в первые 72 часа с момента разлива, можно рассматривать в качестве возможных случаев воздействия цианида. Случаи, о которых было сообщено позднее, не базируются на правдоподобных путях воздействия и не могут быть непосредственно связаны с разливом цианида на р. Барскаун.

### 10.3.3 Воздействие почвы

Несмотря на большое количество взятых проб почвы, уровней концентрации, представляющих какую-либо опасность для здоровья человека, не обнаружено. За исключением проб, взятых на месте аварии, установленные значения содержания во всех других пробах меньше 1,0 мг/кг. При этом даже более высокие значения, зарегистрированные на месте аварии, ниже действующих в Канаде норм. Более того, уровень концентрации цианида в почве не достигал уровня, когда необходимо принимать меры по охране здоровья людей (канадский норматив составляет 29 мг/кг).

В нескольких пробах концентрация превысила 0,9 мг/кг, что является экологически приемлемым рекомендованным нормативом в Канаде. В основе

этого норматива лежит воздействие на земляных червей, редис, латук и кустовую фасоль. На участках, где содержание цианида в почве немного выше, это может в какой-то степени повлиять на скорость роста овощных культур [но не делает их опасными для употребления в пищу – см. раздел 3.5].

Таким образом, уровень содержания цианида в почве не представлялся опасным ни для кого, кто занимался осуществлением обычных действий.

#### **10.3.4 Воздействие в результате употребления продуктов питания**

В природе цианид встречается во многих пищевых продуктах, особенно во фруктах, в частности, в абрикосах. Такой цианид легко и быстро расщепляется в организме человека, и поэтому считающаяся безопасной концентрация цианида в овощах довольно высокая, - 25 мг/кг. Уровень содержания цианида во всех пробах овощей, собранных в районе Барскауна, был значительно ниже этого значения. Следовательно, существенного воздействия цианида в результате употребления местных фруктов или овощей не было.

Были зарегистрированы случаи потребления детьми большого количества абрикосовых косточек, что привело к различным отрицательным последствиям неврологического характера, которые варьировались от жалоб на головную боль до погружения в коматозное состояние (Ласч и Эль Шава, 1981 г.). Серьезность последствий прямо зависела от количества съеденных косточек. Пациенты в коматозном состоянии были доставлены в больницу после потребления цианида в форме цианистого калия в количестве 15 мг  $CN^-$ /кг (Лейбовиц и Шварц, 1948 г.), 7,6 мг  $CN^-$ /кг (Гудхарт, 1994 г.), 114-229 мг  $CN^-$ /кг (Касамо и др., 1993 г.) и 5,7 мг  $CN^-$ /кг (Валензуела и др., 1992 г.).

Следует добавить, что в организме сельскохозяйственных животных, питающихся растительным кормом, содержащийся в растениях цианид быстро и легко разрушается. Это означает, что при зарегистрированных в районе уровнях концентрации перенос цианида в молоко не происходит, что подтверждают

результаты анализа проб молока, взятые в районе. Следовательно, и в этом случае можно сделать вывод о том, что воздействия цианида в результате употребления молока (или молочных продуктов) в районе не было.

Разлив цианида вызвал гибель части речной рыбы. Следует отметить, однако, что чувствительность рыб на цианид в 1 000 раз превосходит чувствительность людей. Люди, использующие рыбу в своем рационе, не пострадают, поскольку рыба, подвергшаяся сильному воздействию цианида, погибла бы и была бы непригодна для употребления в пищу. Если бы в рыбе и содержался цианид, то он был бы связан с гемоглобином и молекулами белка и не представлял бы собой опасность при приеме внутрь. Кроме того, в случае более низкого содержания цианида в рыбе он бы быстро разрушился в организме человека.

#### **10.3.5 Воздействие в районах Барскауна и Тамги**

По имеющимся данным уровень концентрации цианида в поселках Барскаун и Тамга был весьма низким чтобы утверждать, что имеются случаи воздействия цианида. Нет оснований говорить о каких-либо достоверных путях воздействия на организм человека таких уровней цианида, которые могли бы иметь последствия для здоровья человека.

#### **10.3.6 Воздействие в других районах помимо Барскауна и Тамги**

Все возможные районы воздействия цианида перечислены выше. Цианид не мог воздействовать на людей, сельскохозяйственных животных, растения или почву за пределами Барскауна или Тамги, поскольку

- зараженная вода из реку Барскаун не поступала в другие села,
- цианид, содержащийся в воде реки Барскаун, поступающей в озеро Иссык-Куль, тут же разбавлялся в огромной массе озерной воды, в результате чего концентрация цианида падала до уровня, не представляющего никакой опасности для здоровья человека,

- концентрация улетучившегося цианида, который мог присутствовать в атмосфере над рекой Барскаун или озером Иссык-Куль, быстро бы снизилась до уровня, не представляющего какой-либо опасности для здоровья человека. Следовательно, цианид не мог оказывать воздействие в поселках Тосор, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.

### 10.3.7 Ошибочная диагностика воздействия

Исходя из вышеупомянутых путей воздействия становится очевидным, что в подавляющем большинстве случаев предположительного воздействия цианида поставлен ошибочный диагноз. Мы не можем назвать количество достоверных случаев воздействия, поскольку Министерство здравоохранения Кыргызстана не обеспечило доступ к медико-санитарной документации. Достоверными случаями воздействия могут считаться зарегистрированные в первые 72 часа после разлива случаи воздействия в местах, где люди использовали речную воду, или же, что возможно, но маловероятно, случаи воздействия атмосферных концентраций цианида на людей в устье реки или в прилегающем к озеру районе. Не имея доступа к документации Министерства здравоохранения Кыргызстана, невозможно определить число достоверных случаев воздействия. Исходя из той информации, которая имеется в нашем распоряжении, можно говорить не более чем о 16 возможных случаях воздействия цианида. Число достоверных случаев воздействия цианида на самом деле может быть значительно меньше.

В чем причина ошибочных диагнозов? Ясно, что определенную роль здесь сыграла паника. Несомненно, сельчане по настоящему испугались, узнав о разливе цианида. Очевидно, в большинстве случаев постановка ошибочных диагнозов отчасти объясняется вызванным разливом стрессом и целым рядом существовавших до этого разных обстоятельств. К тому же симптомы отравления цианидом не носят ярко выраженный характер и их можно с легкостью неправильно истолковать. Кроме того, было высказано предположение о возможной вирусной инфекции, источником которой являлись домашние или

дикие животные или же люди (см. Приложение О). Кроме того, Вопрос о компенсации мог стать еще одной причиной большого числа обращений в местные больницы.

Независимо от причин ошибочных диагнозов это могло сказаться на состоянии здоровья лечащихся пациентов. Фармацевтические препараты, используемые в качестве антидотов цианида, сами могут оказывать токсическое воздействие: неправильное применение таких фармацевтических препаратов может причинить вред здоровью больных (Каммингз, 1998).

Эти средства следует применять только в том случае,

- если состояние пациента тяжелое и поставлен четкий (а не предположительный) диагноз отравления цианидом,
- пациент серьезно болен и анализ проб крови или мочи подтверждает отравление цианидом.

Широкое применение этих антидотов без соответствующего подтверждения отравления не оправдано и может представлять опасность для здоровья пациентов, которых лечат таким образом. Следует добавить, что эвакуировать 7 000 человек из района разлива не было необходимости: это лишь усилило панику среди населения.

#### 10.4 Выводы

- В результате анализа проб, взятых в каналах на территории поселков Барскаун и Тамга, не обнаружено уровней концентрации цианида, которые могли бы оказать вредное воздействия на состояние здоровья людей. Не обнаружено также каких-либо возможных путей воздействия цианида на жителей поселков Тосор, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.

- В местах, расположенных по течению р. Барскаун, в период с 12.10 до 22.30 существовала вероятность воздействия повышенных уровней цианида, что могло привести к отрицательным последствиям для здоровья людей. Исходя из данных, полученных от Министерства здравоохранения Кыргызстана о количестве госпитализированных в течение первых 72 часов после разлива, комиссия пришла к выводу, что речь может идти не более чем о 16 потенциальных случаях воздействия цианида. Однако никаких медицинских свидетельств того, что указанные случаи действительно связаны с воздействием цианида, представлено не было. Поэтому комиссия не может сделать научно обоснованное заключение о том, что здоровье этих людей пострадало в результате прямого воздействия цианида после разлива, который произошел 20 мая 1998 г.
- Если часть или все 16 случаев связаны с воздействием цианида, и так как нам известно, что в первые 72 часа не было зарегистрировано случаев со смертельным исходом, можно сделать вывод о том, что пациенты в каждом из этих 16 случаев не будут испытывать долгосрочные отрицательные последствия для здоровья.
- Широкое применение антидотов цианида было неоправданно и, возможно, само по себе привело к отрицательным последствиям для здоровья пациентов.

## 11.0 ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПЕРЕВОЗКИ

### 11.1 Использование цианида

Мы рассмотрели в предварительном порядке три следующих возможных варианта, которые позволили бы свести к минимуму или прекратить перевозку цианида в район освоения месторождения "Кумтор" без экономических последствий для экономики Кыргызстана:

- 1) замена цианида на другой реагент для использования в процессе освоения месторождения;
- 2) получение цианида на месте из реагентов, доставляемых на грузовых автомобилях с сортировочной станции в Балыкчи ;
- 3) рециркуляция цианида на месте с целью сведения к минимуму количества цианида, доставляемого транспортом.

После изучения имеющейся информации мы пришли к выводу, что вариант 1 – замена цианида на другой реагент – сейчас неосуществим в силу экономических причин. В настоящее время ведутся исследования по целому ряду реагентов и технологических процессов, однако ни один из них не может быть внедрен для промышленного использования (Дофин, 1998). Поэтому мы приняли решение не рассматривать этот вариант.

### 11.2 Получение цианида на месте

Вариант 2 – получение цианида на месте – осуществим, если применить такие методы, как, например, метод Андрусова. Смесь метана и аммиака с воздухом подвергается в реакторе воздействию катализатора, в результате чего образуется конверторный газ. Поскольку рабочая температура составляет

1 000 – 1 100 С° в качестве катализатора обычно используется 10% родий-платина. Затем для получения жидкого цианида натрия этот газ пропускается через колонну с раствором каустической соды. Поскольку при этом протекают многочисленные побочные реакции, степень превращения обычно составляет 60-70%.



Ниже приводится стехиометрическое уравнение химической реакции получения цианида натрия с указанием молекулярного веса всех реагентов и продуктов реакции.

|                 |   |                 |   |                   |   |        |   |                   |
|-----------------|---|-----------------|---|-------------------|---|--------|---|-------------------|
| Аммиак          |   | Метан           |   | Кислород          | = | Цианид |   | Вода              |
| NH <sub>3</sub> | + | CH <sub>4</sub> | + | 1,5O <sub>2</sub> | = | HCN    | + | 3H <sub>2</sub> O |
| 17              |   | 16              |   | 48                |   | 27     |   | 54                |
| 0,63            |   | 0,59            |   | 1,78              |   | 1,00   |   |                   |
| 0,35            |   | 0,33            |   | 0,98              |   | 0,55   |   |                   |
|                 |   | HCN             | + | NaOH              | = | NaCN   | + | H <sub>2</sub> O  |
|                 |   | 27              |   | 40                |   | 49     |   | 18                |
|                 |   | 0,55            |   | 0,82              |   | 1,00   |   |                   |

Даже если исходить из 100% конверсии в результате протекания химических реакций, выраженных данными уравнениями, для производства 1 т цианида потребуется доставить 0,35 т аммиака, 0,33 т метана и 0,82 т каустической соды. Более низкая степень превращения на практике будет означать, что потребуется еще большее количество реагентов. Кроме того, для этой реакции потребуется катализатор и достаточно много энергии.

Если компания, осуществляющая разработку месторождения, примет решение производить цианид натрия в Кумторе, для этого придется доставлять в район добычи аммиак, природный газ и каустическую соду. Для того, чтобы

повысить производство электроэнергии необходимо будет увеличить поставки топлива, используемого для выработки электроэнергии.

Необходимо будет проанализировать затраты и риски, связанные со строительством завода по производству цианида на месте, и сравнить полученные данные с результатами анализа затрат и рисков, связанных с закупкой и доставкой цианида на место. Строительство завода вызовет существенный рост капитальных затрат и эксплуатационных расходов. При этом уменьшится риск, поскольку отпадет необходимость в доставке цианида. Вместе с тем увеличится риск, связанный с перевозкой аммиака (оказывает токсическое воздействие), природного газа (горючий и взрывоопасный) и каустической соды (оказывает раздражающее и коррозионное действие). Кроме того, возрастет расход топлива для производства электроэнергии.

### 11.3 Извлечение и рециркуляция цианида

Цианид широко применяется в горнодобывающей промышленности для извлечения золота из руды. Обычно руда дробится и в течение нескольких часов перемешивается со слабым раствором цианида в струе воздуха или кислорода. В процессе перемешивания цианид вступает в реакцию с вкрапленными в руду мельчайшими частицами золота, в результате чего образуется золотоциановый комплекс  $Au(CN)_2^-$ , который переходит в раствор (Риверос, 1997).

Вариант 3 – рециркуляция цианида – осуществим в случае использования определенных технологических процессов, таких, как AVR-процесс и фирменный процесс "Cyanisorb". Обычно такие процессы используются для того, чтобы свести к минимуму количество цианида, попадающего в окружающую среду из установок очистки сточных вод. Суть данного варианта заключается в максимальном сокращении количества нового цианида, который надо доставлять к месту добычи, за счет рециркуляции уже имеющегося там цианида.

Технологию извлечения цианида можно успешно использовать для извлечения всего свободного цианида и примерно половины цианида, содержащегося в сложных веществах. Следует подчеркнуть, что при этом не образуются токсичные соединения. В качестве примера технологии извлечения цианида можно привести AVR-процесс (процесс подкисления – испарения – повторной нейтрализации), который описывается ниже.

Как правило, AVR-процесс включает следующие этапы:

- подкисление раствора цианида серной кислотой до показателя pH 2 – 3,5,
- обработку кислого раствора воздухом для того, чтобы обеспечить испарение и удаление цианистоводородной кислоты HCN, - газообразного соединения, образовавшегося в результате подкисления,
- повторную нейтрализацию азрированного раствора для осаждения избыточного сульфата и следов металлов (Риверос, 1997).

Ниже перечисляются доводы в пользу извлечения цианида на месте:

- уменьшение риска, связанного с перевозкой цианида,
- сокращение расходов, связанных с закупкой, перевозкой и уничтожением цианида,
- снижение степени экологической ответственности, сокращение объема перевозок и сброса сточных вод.

Как и в случае с вариантом 2, при рассмотрении возможности рециркуляции цианида следует изучить связанные с этим расходы и риски. Этот вариант также сопряжен с ростом капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Уменьшится (но не будет ликвидирован) риск, связанный с перевозкой цианида. При этом не возрастет риск, связанный с перевозкой аммиака, природного газа и каустической соды. С другой стороны, возрастет риск, связанный с увеличением объема топлива, используемого для выработки электроэнергии (как и в варианте 2).



## 11.4 Требования к безопасной перевозке цианида натрия

Для целей данного обсуждения цианидом натрия считается опасное контролируемое вещество, которое классифицируется как UN 1689, Class 6.1 (9.2). В Канаде для осуществления перевозки этого вещества в количестве свыше 1 000 кг на одну партию груза требуется иметь план действий в случае возникновения аварийной ситуации, краткий вариант которого представляется в Министерство транспорта Канады для утверждения.

Ниже перечисляются действующие в Канаде требования, предъявляемые к перевозке цианида натрия UN 1689, PGI, в контейнерах средней грузоподъемности для насыпных грузов (КСГНГ):

- используемые КСГНГ должны отвечать требованиям, предъявляемым в соответствующих документах ООН к контейнерам этого типа [7.1.9],
- максимальная грузоподъемность используемых контейнеров не должна превышать 1 500 л [3.1],
- запрещается использовать КСГНГ из гибких материалов для перевозки твердых веществ, выделяющих жидкость [7.3.3b],
- запрещается использовать КСГНГ, которым присвоен Code 13L (КСГНГ из гибких материалов, не имеющие покрытия или обшивки) [7.3.4b].

В Приложении N содержится более подробная информация, касающаяся требований, предъявляемых к перевозке цианида натрия в контейнерах средней грузоподъемности для насыпных грузов.

Несмотря на то, что контейнер, о котором идет речь в данном случае, отвечал всем соответствующим международным требованиям и требованиям к материалам, которые должны соблюдаться при перевозке цианида, необходимо определить, следует ли использовать более прочную или эластичную тару для отдельных упаковок цианида.

Однако первопричиной аварии, видимо, стали действия водителя грузового автомобиля.

### 11.5 Выводы, касающиеся перевозки

- Вероятно, причиной аварии стали действия водителя грузового автомобиля. Контейнер и упаковочный материал, о которых идет речь, отвечали всем международным требованиям и требованиям к материалам, которые должны соблюдаться при перевозке цианида.

## 12.0 ВЫВОДЫ

- Зарегистрированные уровни концентрации цианида в атмосфере во всех случаях были гораздо ниже уровней, предусмотренных нормативами промышленной гигиены/гигиены труда, действующими в промышленности и считающимися безопасными.
- Вероятность воздействия хлористого циана отсутствует, поскольку он не мог образоваться в значительном количестве. Расчетная максимальная концентрация хлористого циана составила  $0,01 \text{ мг/м}^3$ , что значительно ниже предельной пороговой концентрации, установленной ААГИПГ, которая равна  $0,75 \text{ мг/м}^3$ , и российского норматива, разработанного для контроля качества воздуха в закрытых помещениях, составляющего  $0,2 \text{ мг/м}^3$ .
- Следует подчеркнуть, что, поскольку рабочий показатель рН был низкий и составлял рН 8,5, возможность для образования хлористого циана существовала. Однако на участках с низкой концентрацией цианида добавлялся гипохлорит натрия, в результате чего хлористый циан образовывался в небольшом количестве или же вообще не образовывался.
- Концентраций цианида в почве, достигших уровня, влияющего на состояние здоровья человека, зарегистрировано не было (канадский норматив –  $29 \text{ мг/кг}$ ). Вместе с тем следует отметить, что в отдельных случаях низкая концентрация цианида в почве могла оказать отрицательное воздействие на земляных червей и другие виды почвенных беспозвоночных, а также на рост редиса, латука и кустовой фасоли. Однако потребление этих овощных культур не привело бы к отрицательным последствиям, если бы эти овощи использовались людьми или животными в пищу.

- Концентрация цианида в р. Барскаун была потенциально высокой и могла оказать серьезное воздействие на здоровье людей по крайней мере в течение нескольких часов после разлива, если вода из реки использовалась в качестве питьевой воды. Результаты моделирования речного потока позволяют сделать вывод о том, что перемещение массы воды в водотоке от места аварии до озера заняло 4 часа. Период времени, потребовавшийся для очищения р. Барскаун от цианида, составил около 10 часов.
- В результате того, что в период с момента разлива вплоть до 2 июня 1998 г. из-за опасений загрязнения цианидом ирригационные системы не использовались, могли пострадать местные сельскохозяйственные культуры в Барскауне и Тамге.
- Не обнаружено каких-либо свидетельств прямого воздействия цианида на растительность на территории пяти следующих сел в Дзеты-Огузском районе: Тосор, Тамга, Барскаун, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.
- В последующие после разлива дни произошло вторичное заселение мест обитания рыб, указывающее на низкий уровень концентрации цианида в реке Барскаун и озере Иссык-Куль после разлива. Это наблюдение подтверждает вывод о том, что речная/озерная среда является безопасной для использования с целью удовлетворения общественных нужд.
- Люди, использующие рыбу в своем рационе, не страдают, поскольку рыба, подвергшаяся сильному воздействию цианида, погибла бы и была бы непригодна для употребления в пищу. Более того, даже если бы цианид присутствовал в организме рыбы, он был бы связан с гемоглобином и не представлял бы опасность в случае употребления этой рыбы в пищу.

- В результате употребления молока или молочных продуктов, произведенных в рассматриваемом районе, воздействие цианида не отмечалось.
- Озеру Иссык-Куль не причинен ни краткосрочный, ни долговременный ущерб. Цианид растворился в большом объеме озерной воды, его концентрация упала ниже уровня обнаружения ( $<0,001$  мг/л) и была ниже допустимых международных норм качества питьевой воды. Озеро Иссык-Куль по-прежнему является чистым водоемом, представляющим национальное достояние.
- Поскольку в рассматриваемом случае речь идет о кратковременном воздействии, а не о постоянном или длительном воздействии, такое воздействие не может вызвать у людей нарушения, имеющие канцерогенный, мутагенный, репродуктивный или нейротоксический характер.
- В результате анализа проб, взятых в каналах на территории поселков Барскаун и Тамга, не обнаружено уровней концентрации цианида, которые могли бы оказать вредное воздействие на состояние здоровья людей. Не обнаружено также каких-либо возможных путей воздействия цианида на жителей поселков Тосор, Чон-Дзаргылчак и Ак-Терек.
- В местах, расположенных по течению р. Барскаун, в период с 12.10 до 22.30 существовала вероятность воздействия повышенных уровней цианида, что могло привести к отрицательным последствиям для здоровья людей. Исходя из данных, полученных от Министерства здравоохранения Кыргызстана о количестве госпитализированных в течение первых 72 часов после разлива, комиссия пришла к выводу, что речь может идти не более чем о 16 потенциальных случаях воздействия цианида. Однако никаких медицинских свидетельств того, что указанные случаи действительно связаны с воздействием цианида, представлено не было. Поэтому комиссия не может сделать научно обоснованное заключение о том, что здоровье этих людей

пострадало в результате прямого воздействия цианида после разлива, который произошел 20 мая 1998 г.

- Если часть или все 16 случаев связаны с воздействием цианида, и так как нам известно, что в первые 72 часа не было зарегистрировано случаев со смертельным исходом, можно сделать вывод о том, что пациенты в каждом из этих 16 случаев не будут испытывать долгосрочные отрицательные последствия для здоровья. Следует отметить, что пациента в каждом из этих случаев, - если эти случаи действительно связаны с воздействием цианида, - пришлось бы лечить всего лишь несколько дней, пока не исчезнут симптомы.
- Широкое применение антидотов цианида было неоправданно и, возможно, само по себе привело к отрицательным последствиям для здоровья пациентов.
- Вероятно, причиной аварии стали действия водителя грузового автомобиля. Контейнер и упаковочный материал, о которых идет речь, отвечали всем международным требованиям и требованиям к материалам, которые должны соблюдаться при перевозке цианида.

## 13.0 РЕКОМЕНДАЦИИ

### *Нормы и правила*

- Министерству здравоохранения и Министерству охраны окружающей среды Кыргызстана следует рассмотреть вопрос о введении собственных национальных норм концентрации цианида в воздухе, почве, воде и пищевых продуктах и разработать национальную программу сертификации своих лабораторий.

### *Воздух, почва и вода*

- При ликвидации последствий разлива цианида в окружающую среду следует избегать применения гипохлорита натрия, поскольку это может привести к образованию хлористого циана. Безопасное использование гипохлорита натрия возможно только в том случае, если показатель рН в окружающей водной среде превысит 10. В природе водные бассейны с показателем рН свыше 10 не встречаются. На практике гипохлорит натрия следует использовать только в промышленных целях.

### *Ликвидация последствий разливов*

- В случае подобных разливов первая мера, которую следует предпринять, заключается в соответствующем уведомлении потребителей воды на участках, расположенных ниже по течению, с целью предотвращения использования зараженной питьевой воды. Необходимо также обеспечить мониторинг, взятие проб, анализ и подготовку соответствующих отчетов.
- Следует пересмотреть план действий в случае возникновения аварийной ситуации, имеющийся у СП "Кумтор", и представить копию пересмотренного плана в Министерство по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне Кыргызстана. Следует проводить по крайней мере один раз в год учебную тревогу для отработки действий в случае возникновения аварийной ситуации с

участием работников "Кумтора" и Министерства по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне Кыргызстана.

### *Вопросы медицинского характера*

- Министерству здравоохранения Кыргызстана следует изучить имеющуюся медицинскую документацию и записи и представить сведения о количестве случаев, зарегистрированных в первые 72 часа после разлива цианида.
- "Кумтору" и Министерству здравоохранения Кыргызстана следует организовать дополнительное обследование пациентов, у которых были отмечены характерные симптомы, и создать комиссию специалистов с целью анализа документации, касающейся симптоматики, одновременно с открытием Кумторской клиники.
- Следует завершить повторное изучение четырех случаев со смертельным исходом, предположительно в результате воздействия цианида. В случае отсутствия подтвержденного и достоверного пути воздействия или проверенных биологических свидетельств (кровь, моча) воздействия цианида следует повторно установить причины смерти.
- "Кумтору" и Министерству здравоохранения Кыргызстана следует совместно организовать обучение местного медперсонала с тем, чтобы научить ставить диагноз о воздействии цианида, обучить способам правильного обращения с опасными материалами, выработать навыки действовать в чрезвычайных обстоятельствах и оказывать неотложную помощь.

### *Вопросы, касающиеся перевозки*

- СП "Кумтор" следует проанализировать степень риска и экономической выгоды, связанных с производством цианида на месте, а также с рециркуляцией цианида на месте.
- СП "Кумтор" и Министерству транспорта Кыргызстана следует совместно изучить возможность использования более прочных грузовых контейнеров или более прочной упаковки для перевозки цианида.
- СП "Кумтор" следует обеспечить надлежащую подготовку и обучение всех работников предприятия, участвующих в перевозке (водителей грузовых автомобилей, охранников, сотрудников отдела снабжения и т. д.), методам ликвидации последствий разлива цианида и других опасных веществ.
- Следует регулярно организовывать проверки и пересматривать процедуры, касающиеся правил транспортировки опасных грузов на рудник.

---

**Приложение А:**  
**Подсчет общего количества NaCN,**  
**попавшего в окружающую среду 20 мая 1998 г.**

---

**Приложение В:**  
**Определение концентрации свободных ионов цианида в атмосфере**

---

**Приложение С:**  
**Использование гипохлорита натрия**

---

**Приложение D:**  
**Доклад Всемирной организации здравоохранения**

---

**Приложение Е:**  
**Определение содержания свободного цианида и общего содержания цианида**  
**в почве и грунте**

---

**Приложение F:**  
**Химический состав воды**

---

**Приложение G:**  
**Отчет о результатах изучения последствий разлива цианида в р. Барскаун**  
**– Т. М. Доронина**

---

**Приложение Н:**  
**Краткий отчет о проделанной работе по результатам предварительной оценки  
дисперсии цианида в результате аварии, приведшей к разливу цианида  
– «Бик Интернешнл Инкорпорейтед»**

---

**Приложение I:**  
**Определение содержания цианида в воде**

---

**Приложение J:**  
**Виды растений, содержащие цианид в природе**

---

**Приложение К:**  
**Определение содержания цианида в овощах и фруктах**

---

**Приложение L:**  
**Фитопатологический анализ сельскохозяйственных культур**

---

**Приложение М:**  
**Отчет о результатах ветеринарных исследований,**  
**подготовленный университетом Саскачевана**

---

**Приложение N:**  
**Определение содержания свободного цианида в биосубстратах**

---

**Приложение О:**  
**Медицинские отчеты подготовили:**  
*Е. Бонитенко, М. Джеймз, А. Холл*

---

**Приложение Р:**  
**Нормы техники безопасности, которые должны соблюдаться при осуществлении погрузочно-разгрузочных работ с опасными грузами или при транспортировке опасных грузов в Канаде**