

УДК 622.275.553

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТАРЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТВАЛОВ ЗОЛОТОДОБЫЧИ

Бурдин В.Н.<sup>1</sup>, Гребенникова В.В.<sup>1</sup>, Лебедев В.И.<sup>2</sup>, Бурдин Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Красноярская государственная медицинская академия, г. Красноярск

<sup>2</sup>Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл  
[nik-burdin@yandex.ru](mailto:nik-burdin@yandex.ru), [www.famous-scientists.ru](http://www.famous-scientists.ru)

Представленные способы и устройства, обогатительные комплексы и технологические линии позволяют повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность извлечения благородных металлов при переработке золотосодержащих россыпей и золоторудных месторождений. Использование экологически чистых технологий по переработке полезных ископаемых дает возможность снизить степень отравлений и заболеваний, связанных с ртутью, её парами и солями, что, в связи с большой распространенностью загрязнения долин рек техногенной ртутью в Сибири, имеет важное значение для охраны здоровья населения.

**Ключевые слова:** мелкое золото, ртуть, извлечение, шлюз, концентрат.

При разработке россыпных месторождений извлечение золота из черновых концентратов гравитационного обогащения до недавнего времени осуществляли амальгамацией, то есть извлечение золота из концентратов при помощи смачивания его ртутью. В результате произошло интенсивное загрязнение ртутью природной среды в долинах рек, что подтверждено геоэкологическими исследованиями участков старых старательских отработок (Таблица) [1-3]. В связи с загрязненностью долин рек техногенной ртутью, распространенной во многих районах Сибири возможна интоксикация ртутью. В последние годы одной из наиболее актуальных научно-практических проблем стало изучение влияния ухудшающейся экологической обстановки на здоровье населения. В этой связи особого

внимания заслуживает вопрос о загрязнении окружающей среды техногенной ртутью. Ужесточение контроля за содержанием ртути в производственных условиях привело к уменьшению случаев ртутных отравлений. В то же время бесконтрольное использование на некоторых золотодобывающих предприятиях ртути, расширило контингент лиц, страдающих ртутной интоксикацией, не знающих об этом и длительно не обращающихся к врачам. Ртуть является одним из 17 тяжелых металлов, загрязняющих окружающую среду, и способными накапливаться не только в организме животных, птиц и рыб, но и человека. Особенно это касается органических соединений ртути (метил- или этил-ртуть), обнаруживающихся в водоемах. По мнению диетологов, главная опасность содержа-

щихся в рыбе тяжелых металлов заключается в том, что подобные соединения не выводятся из продукта в процессе его обработки, а следовательно – накапливаются в организме человека. Необходимо отметить, что тяжелые металлы содержатся не только в рыбе, но, например, и в грибах. Впервые об опасности содержания в рыбе тяжелых металлов заговорили еще в 50-е годы прошлого века. Тогда же ученые начали предупреждать о возможном развитии минаматы - заболевания, связанного с повышенным уровнем содержания ртути в организме человека. «Ртуть – вещество первого класса опасности, однако реальная опасность наступает лишь после пересечения критиче-

ского порога содержания ртути в организме, который, естественно, у каждого человека индивидуален». Хотя вдыхание паров ртути не убивает мгновенно, но она практически не выводится из организма. Более того, воздействие ртути на организм имеет кумулятивный эффект. По санитарно-гигиеническим нормам ее содержание в рабочей зоне не должно превышать 0,017 мг на куб. м. Это значит, что полностью испарившейся ртути из одного разбитого градусника достаточно, чтобы загрязнить 10 млн куб. м. воздуха. Ртуть прекрасно реагирует с тиолами, за счет чего встраивается в кожную оболочку человека. А органические соединения ртути — сильнейшие яды.

Содержание ртути в почвах Республики Тува и некоторых районов Сибири, мг/кг

Район, горизонт	Количество проб	Среднее	Пределы содержаний
Республика Тува:			
дерн	43	0,105	0,031-0,21
гумус	70	0,067	0,018-0,12
пахотные земли	28	0,047	0,017-0,65
Тоджинский район: РТ			
дерн	6	0,14	0,084-0,16
гумус	18	0,081	0,053-0,12
пахотные земли	6	0,19	0,052-0,65
Красноярский край:			
дерн	98	0,092	0,036-0,19
гумус	114	0,054	0,028-0,11
пахотные земли	38	0,037	0,032-0,56
Степной Алтай:			
дерн	88	0,05	-
гумус	97	0,04	-
пахотные земли	10	0,031	0,057-0,11
Горный Алтай:			
дерн	132	0,062	-
гумус	125	0,043	-
пахотные земли	16	0,033	0,012-0,71
Новосибирская обл.:			
дерн	27	0,076	-
гумус	27	0,052	-
Кемеровская обл.:			
дерн	51	0,071	-
гумус	54	0,03	-
пахотные земли	15	0,029	0,01-0,069



*Фото 1. Определяются показатели психомоторного и физического развития детей*

Более 90% метилированной ртути, попавшей в желудочно-кишечный тракт, всасывается и аккумулируется в основном на центральной нервной системе. Кроме того, ртуть проникает через плацентарный барьер, что ведет к внутриутробному заражению. Ртуть — тиоловый яд, блокирующий сульфгидрильные группы тканевых белков; этот механизм лежит в основе полиморфных нарушений в деятельности ЦНС. Ртуть обладает выраженным тропизмом к глубинным отделам головного мозга. Клинически для острой интоксикации парами ртути характерны головная боль, лихорадка, понос, рвота, спустя несколько дней развиваются геморрагический синдром и язвенный стоматит. Начальная стадия хронической интоксикации парами ртути протекает по типу вегетососудистой дистонии, неврастении (раздражительная слабость, головная боль, прерывистый сон, сонливость днем). Характерен мелкий, неритмичный тремор пальцев, тахикардия, повышенная потливость, «игра» вазомоторов, блеск глаз. Повышается функция щитовидной железы, коры надпочечников; дис-

функция яичников. Выраженная интоксикация протекает по типу астеновегетативного синдрома. Нарастает головная боль, астения, беспокоят упорная бессонница, тягостные сновидения. Характерен симптом «ртутного зретизма» — робость, неуверенность в себе, при волнении — гиперемия лица, сердцебиение, потливость. Типичны выраженная сосудистая неустойчивость, кардиалгии. Возможно развитие синдрома гипоталамической дисфункции с вегетососудистыми пароксизмами. По мере прогрессирования заболевания формируется синдром энцефалопатии, нарастают психопатологические расстройства. Изменения внутренних органов носят дисрегуляторный характер (кардионеврозы, дискинезии). Часто наблюдается субфебрилитет [4-7]. Пары ртути, попадая в организм человека, лишь очень короткое время находятся в крови. Пары ртути ( $Hg^0$ ) — это гидрофобная субстанция, которая довольно быстро проникает через клеточные мембраны в клетки, где определенные ферменты, такие как каталаза, быстро преобразуют ее в  $Hg^{2+}$  -реактивную и токсич-

ную форму ртути, называемую неорганической ртутью. Организму практически невозможно вывести ни большую часть  $\text{Hg}_0$ , ни  $\text{Hg}^{2+}$  в их первоначальной форме. Чтобы  $\text{Hg}^{2+}$  была выведена из организма, она должна быть вначале поглощена клеткой, в которой может образовывать комплекс с глутатионом. Именно ртуть-глутатионовый комплекс в первую очередь выделяется из клеток в кровь, и в дальнейшем очищается транспортной системой желчных протоков печени. Таким образом, в результате воздействия ртути на организм, повышается, в основном, уровень ртуть-глутатионового комплекса, который можно измерить в крови, моче, кале и волосах. Это уже не исходная  $\text{Hg}_0$ , которая "предпочитает" распределяться по более гидрофобным клеткам организма. Таким образом, отсутствие ртути в волосах новорожденных аутистов предполагает наличие четкой связи с тем, что они не могут эффективно выводить ртуть из организма, вероятнее всего, из-за отсутствия способности эффективно связывать  $\text{Hg}^{2+}$  с глутатионом. Исследование д-ра Джилл Джеймс из университета в Арканзасе частично объясняет этот феномен, демонстрируя у аутистов низкий уровень внутриклеточного глутатиона, который используется организмом в нормальном процессе экскреции [8]. Пары ртути с легкостью проникают в мозг, где  $\text{Hg}_0$  переходит в токсичную форму  $\text{Hg}^{2+}$ . В то время как  $\text{Hg}_0$  легко попадает в мозг,  $\text{Hg}^{2+}$  трудно пересечь кровяной

барьер мозга в любом направлении. Таким образом,  $\text{Hg}^{2+}$  удерживается в мозге и не может эффективно выводиться. Исходя из уровня ртути в ногтях, удержание  $\text{Hg}^{2+}$ , вероятно, возрастает у пожилых людей, которые уже не способны выводить ртуть так же легко, как в молодости. Это подвергает их воздействию большим количеством этилртути на протяжении всей их жизни, увеличивающим «ртутное бремя» их организма и усиливающим общий токсический эффект ртути. Недавние исследования показали, что у индивидуумов с умеренными когнитивными нарушениями уже начинают формироваться амилоидные бляшки, возможно даже раньше, чем начинает проявляться какое-либо клиническое слабоумие. Раннее исследование показало, что воздействие ртути может усиливать выработку бета-амилоида, белка, из которого образуются амилоидные бляшки [9].

Для изучения возможности извлечения техногенной ртути с попутным доизвлечением золота были проведены исследовательские работы по определению оптимальных параметров работы механических лотков [10], таких как частота и амплитуда колебаний, время прохождения исходного материала и т. д. Скорости стесненного падения однородных частиц могут служить основой для расчета скоростей падения этих частиц при наличии в пульпе различных по крупности и плотности частиц. На первом этапе работ для исследований использовали, как исходный материал, узкий

класс — 0,15+0,1 мм золота (1), магнетита (2), кварца (3), диспергированной ртути — 0,15 мм (4), с целью изучения падения частиц золота, минералов и капелек металлической ртути в стесненных условиях. Как показали экспериментальные данные (Рис. 1), увеличение частоты колебаний механического лотка при постоянной амплитуде ко-

лебаний способствует резкому увеличению выхода легкого минерала (кварца) со средним выходом магнетита в слив. В свою очередь частички золота и капельки металлической ртути остаются в лотке. Практически такая же зависимость наблюдается с увеличением амплитуды колебаний при постоянной частоте колебаний (Рис. 2).

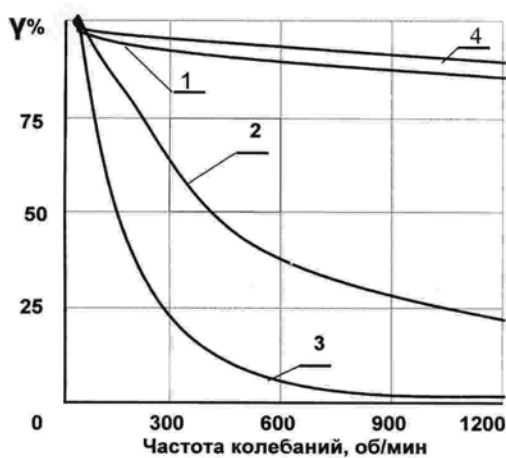


Рис. 1. Увеличение частоты колебаний при постоянной амплитуде колебаний

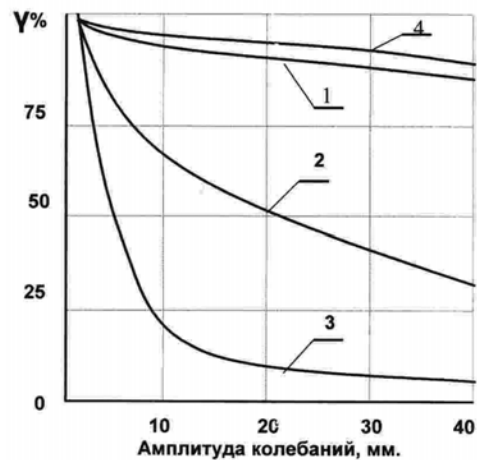


Рис. 2. Увеличение амплитуды колебаний при постоянной частоте колебаний

Это обусловлено тем, что частота и амплитуда колебаний способствуют поддержанию особенно легкой фракции во взвешенном состоянии, что приводит к лучшему разделению минералов и металлов по их удельному весу. Стесненное падение частиц происходит в потоке движущейся в определенном направлении жидкости, ограниченной стенками лотка. Вследствие воздействия турбулентных вихрей, срывающихся со стенок, в механическом лотке происходит перемешивание частиц как в продольном, так и в поперечном направле-

ниях, аналогичное диффузионному. Как показывают исследования, падения частиц в неподвижной жидкости или как скорость движения жидкости, поддерживающей слой частиц, которые находятся относительно наблюдателя в неподвижном состоянии (взвешенный слой). В практике обогащения различают стесненное осаждение частиц в ограниченной среде и псевдооживление слоя материала, когда при известной скорости восходящего потока слой материала переходит в текучее состояние, т. е. приобретает подвижность.



*Фото 2. Обогащительный комплекс*

Анализ результатов лабораторных экспериментов, полупромышленных и промышленных испытаний охарактеризованных ранее обогащительных устройств (аквагравитационных комплексов), а так же достижений мировой практики переработки золотосодержащего сырья, свидетельствуют о том, что максимально извлечь мелкое и тонкое золото, а так же техногенную ртуть на одной установке, в одну стадию, практически невозможно. Для решения этой задачи требуется создание технологической линии с оптимальным набором и рациональной компоновкой необходимого оборудования — как традиционно используемого в золотодобыче, так и оригинального, способствующего повышению степени извлечения мелкого и дисперсного металла. С целью очистки загрязненного аллювия от продуктов амальгамации разработаны обогащительный комплекс (Фото 2) и технологическая схема утилизации ртути с сопутным извлечением благородных метал-

лов из эфелей старательских отработок и карт захоронения золотосодержащих хвостов обогащительных фабрик [11, 12]. Технологической основой, особенно для труднопромывистых (глинистых) зараженных техногенной ртутью золотосодержащих песков, является подготовка пульпы к процессу обогащения, т. е. его интенсивная дезинтеграция. Эффект дезинтеграции усиливается воздействием движений грохочения на поток пульпы в шлюзе, приданием вращения пульпе в ячейках коврика посредством раскручивания шлюза вокруг оси, перпендикулярной плоскости грохота. Создание восстанавливающегося улавливающего покрытия в виде ячеек коврика шлюза с принудительно раскручивающимися потоками пульпы, способствует удержанию от движения грохочения выделяемых инерционными силами тяжелых частичек.

Основным преимуществом обогащительных комплексов является высокая произво-

дительность по исходному материалу при эффективном улавливании тяжелых тонких частичек с максимальным извлечением полезного компонента в концентрат, а также возможность обогащения руд с высоким содержанием в глине тонких тяжелых частичек. Технологический эффект вызван созданием устойчивого процесса подачи и подготовки пульпы грохочением с последующим получением концентрата из тяжелых тонких частиц и диспергированной ртути. Полученный концентрат доводят на шлихообогащительной установке (ШОУ) с использованием виброгрохота-шлюза, механического лотка, гидроклонны и центробежно-вихревого концентратора-обесшламливателя.

Одна из разработок — это способ обогащения тяжелых минералов и металлов из исходного минерального сырья и устройство для его осуществления в виде центробежно-вихревого концентратора-обесшламливателя. Способ и устройство относятся к области мокрого разделения. Их применение целесообразно при обогащении исходного сырья россыпных и рудных месторождений, содержащих особо мелкую и тонкую фракцию тяжелых ценных компонентов. Способ и устройство позволяют эффективно улавливать особо мелкие и дисперсные частички тяжелых минералов и металлов, снизить расход чистой воды. Появляется возможность работы на оборотной воде и более плотных пульпах, что является большим преимуществом по сравнению с аппаратами центробежного типа [13].

Технологический эффект заключается в эффективном разделении особо мелких и тонких частичек по плотности, возможность получения концентрата ценных тяжелых компонентов с высоким содержанием золота.

Обогатительные комплексы и технологические линии различных модификаций отличающиеся тем, что для каждого месторождения соответствовала своя оптимальная компоновка оборудования и технологический режим, прошли полупромышленные и промышленные испытания на опытно-эксплуатационном полигоне Тув. ИКОПР СО РАН в бассейне реки Хопто (Тува), при переработке лежалых хвостов Артемовской ЗИФ (Красноярский край), на промышленной отработке аллювиальных россыпей золота в старательских артелях «Восток», «Аякс-О» и «Ожу». На всех испытательных полигонах достигнуто стабильное увеличение степени извлечения благородных металлов и техногенной ртути на 15-20% по сравнению с традиционными технологиями, в основном за счет дополнительного улавливания более мелких, тяжелых фракций. Извлечение золота в черновые концентраты для месторождения Кызык-Чадыр (Тува) составляло в среднем 80-95 % при содержании в концентрате до 5,6 кг/т для рудных месторождений и до 24 кг/т для россыпных месторождений. Извлечение техногенной ртути составило 98%. На полученном золотосодержащем продукте отработана технология амальгамирования и разделения золота и ртути по замкнутой схеме, а

также извлечения золота и платиноидов на селективных сорбентах. Области применения и внедрения технологии: доводка концентрата, извлечение мелкого и тонкого золота, а также техногенной ртути из россыпей и отвалов отработанных россыпей; отработка россыпей косового золота; извлечение золота, платиноидов и серебра из первичных и окисленных руд кварцевожильных мало-сульфидных, медноколчеданных и полиметаллических, кобальтовых, арсенидно-карбонатных, медно-молибден-порфировых и других типов месторождений, обогащенных благородными металлами; попутное извлечение благородных металлов в процессе добычи и переработки, аллювиальных песчаногалечных отложений для стройиндустрии, а также при работе земснарядов на очистке и углублении фарватера рек.

#### **Выводы**

– Разработанные способы и устройства, обогатительные комплексы и технологические линии позволяют повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность извлечения благородных металлов при переработке золотоносных россыпей и золоторудных месторождений. Кроме того, они могут быть включены в схемы компоновки традиционного на золотодобыче технологического оборудования для дополнительного извлечения мелкого и дисперсного металла, других ценных тяжелых компонентов из накопленных техногенных отходов на действующих горнодобывающих предприятиях.

– Использование экологически чистых технологий по переработке полезных ископаемых даст возможность снижения степени отравлений и заболеваний, связанных с ртутью, её парами и солями, что, в связи с большой распространенностью загрязнения долин рек техногенной ртутью в Сибири, представляет важную государственную задачу для охраны здоровья населения и заботе о будущих поколениях.

#### **Список литературы**

1. Лебедев В.И., Бурдин Н.В., Меткин В.А., Самданчап Т.Х. Технология извлечения техногенной ртути с попутным извлечением благородных металлов / Горный журнал, № 2, 1997. – 41–43 с.
2. Бурдин Н.В., Лебедев В.И. Новая технология переработки золотосодержащего сырья // Горный журнал, № 11-12, 2000. – 70-71 с.
3. Бурдин В.Н., Малишев Г.И., Бурдин Н.В. Физико-технические основы технологии промывки золотосодержащих песков месторождения реки Уургайлыг (Тува). / Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества / (научные труды ТувИКОПР СО РАН) – Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2005. – 136-141 с.
4. Вельтишев Ю.Е., Комаров Ф.И., Навашин С.М. и др. / Справочник практического врача / М.; Баян, 1994. – 232 с.
5. Бурдин Н.В., Гребенникова В.В., Лебедев В.И., Бурдин В.Н., Сажин Л.В. / Технологии извлечения золота и техногенной ртути с точки зрения экологии и здравоохранения. / Материалы IV международного симпозиума «Золото Сибири»: геохимия, технология, экономика. – Красноярск: КНИИГиМС, 2006. – С. 86-88



6. Бурдин Н.В., Гребенникова В.В., Лебедев В.И., Бурдин В.Н. / Технологии гравитационного обогащения золотосодержащих техногенных отвалов с точки зрения экологии и здравоохранения. /Материалы IV международной научно-практической конференции «Обогащение минерального сырья. Процессы и оборудование». – ОАО Завод «Труд». – г. Новосибирск. – 2006.
7. Бурдин Н.В., Гребенникова В.В., Лебедев В.И., Бурдин В.Н. / Санитарно-экологические проблемы связанные с техногенной ртутью при старых способах золотодобычи. / Материалы научно-практической конференции «Новые методы геологического изучения, добычи и переработки руд цветных, благородных и редких металлов». – г. Челябинск – 2006. С. 128-131
8. James S.J., Cutler P., Melnyk S., Jernigan S., Janak L., Gaylor D.W., Neubrandner J.A. Metabolic biomarkers of increased oxidative stress and impaired methylation capacity in children with autism. *Am J Clin Nutr*, 2004 Dec; 80:1611–7.
9. Olivieri G., Brack C., Muller-Spahn F., Stahelin H.B., Herrmann M., Renard P.; Brockhaus M., Hock C. Mercury induces cell cytotoxicity and oxidative stress and increases beta-amyloid secretion and tau phosphorylation in SHSY5Y neuroblastoma cells. *J. Neurochem*, 2000 Jan; 74(1):231–6.
10. Бурдин Н.В., Чадамба П.В. Способ и устройство для мокрого разделения тонкоизмельченных материалов по плотности с помощью создания сплошной среды. /Междун. заявка, междун. приоритет по публ. № WO 01/37999 A1, 2001. – 12 с.
11. Бурдин Н.В., Лебедев В.И. Способ извлечения тонких тяжелых компонентов из россыпных и рудных месторождений и обогатительный комплекс для его осуществления. / Патент РФ №2162746. М.: РОСПАТЕНТ ФИПС: Бюл. №4, 2001. – 10 с.
12. Бурдин Н.В., Чадамба П.В. Способ получения концентрата и технологическая схема обогащения для его осуществления. /Патент РФ № 2165301. М.: РОСПАТЕНТ ФИПС: Бюл. №11, 2001. – 10 с.
13. Бурдин Н.В. Способ обесшламливания пульпы и устройство для его осуществления. / Патент РФ № 220923. М.: Росагентство по патентам и товарным знакам. – Бюл. № 21, 2003. – 14 с.

## ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF OLD TECHNOGENIC WASTE OF GOLD MINING

**Burdin V.N.<sup>1</sup>, Grebennikova V.V.<sup>1</sup>, Lebedev V.I.<sup>2</sup>, Burdin N.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of the RAS*

<sup>2</sup> *Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia*

*[nik-burdin@yandex.ru](mailto:nik-burdin@yandex.ru), [www.famous-scientists.ru](http://www.famous-scientists.ru)*

**Presented ways and equipment, enrichment complexes and technological lines permit economical efficiency and ecological safety of precious metals recovery in processing of gold placers and deposits to be enhanced. The using of ecologically safe technologies for processing of mineral deposits provides decrease of a level of diseases associated with mercury, its vapors and salts. It is of great importance for population health protection because of river valleys in Siberia are often polluted by technogenic mercury.**

**Keywords:** Fine gold, mercury, extraction, sluice, concentrate.