

геологических условий участков размещения полигонов и результатов фактического загрязнения подземных вод) установлены закономерности в зависимости от приуроченности полигонов к тому или иному литолого-генетическому комплексу.

На основании результатов исследований установлено так же, что естественные грунты, характеризующиеся низкими фильтрационными свойствами (которые можно считать относительными водопорами в определённых условиях) выполняют роль противофильтрационных экранов, т. к. они препятствуют поступлению загрязняющих веществ в подземные воды. Строительство полигонов на малопроницаемых грунтах с экраном упрощённой конструкции, значительно сократит капиталовложения без ущерба для подземных вод и это должно учитываться при выборе места. Особенно актуальным это представляется для территории Витебской обл., в пределах которой 80 % полигонов практически исчерпали свой ресурс (т. е. заполнены в соответствии с проектной документацией) и в ближайшие годы необходимо будет осуществлять проектирование новых площадок под захоронение отходов [5].

В целом, результаты исследований показывают, что для предотвращения или минимизации степени воздействия полигонов на окружающую среду необходимо учитывать следующие основные факторы: тип геологической среды (наличие водоупорных горизонтов в геологическом разрезе, глубина залегания подземных вод), наличие или отсутствие природоохранных инженерно-технических сооружений (противофильтрационного экрана, обвалования); сроки эксплуатации полигона и условия размещения полигона.

В качестве перспективных направлений исследований, на основе которых могут приниматься более эффективные решения по предотвращению негативного влияния полигонов захоронения отходов с высокими уровнями загрязнения подземных вод, должна стать обязательная разработка геомиграционных моделей площадного распространения загрязняющих веществ в подземных водах

1. Демидов А. Л., Кузьмин С. И., Олешкевич О. М. Экологическая оценка воздействия объектов захоронения отходов потребления на подземные воды // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 3. С. 154–158.

2. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2012 // Под общей ред. С. И. Кузьмина. [Электронный ресурс]. Электронные, текстовые, графические данные. (173 Мб). Минск РУП «Бел НИЦ «Экология», 2013.

3. Ерошина Д. М., Ходин В. В., Зубрицкий В. С., Демидов А. Л. Экологические аспекты захоронения твёрдых коммунальных отходов на полигонах. Мн.: «Бел НИЦ «Экология», 2010. 152 с.

4. Кузьмин С. И., Демидов А. Л., Зубрицкий В. С. Оценка воздействия полигонов захоронения отходов потребления на подземные воды (на примере Минской области) // Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования: Матер. IX Универ. геол. чтений, посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. Г. В. Богомолова. Минск, 3 апр. 2015 г. Мн.: Издательский центр БГУ, 2015. С. 74–76.

5. Кузьмин С. И., Демидов А. Л., Воробьев Д. С. и др. Геоэкологическая оценка влияния полигонов захоронения коммунальных отходов на окружающую среду (на примере Витебской области) // Экологическая культура и охрана окружающей среды: II Дорофеевские чтения: Матер. международ. науч.-практ. конф., Витебск, 29–30 ноября 2016 г. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2016. С. 53–55

УДК 556.4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В БАШКИРСКОМ ЗАУРАЛЬЕ

А. Ю. Кулагин¹, А. Н. Кутляхметов²

¹ Институт биологии Уфимского научного центра РАН, пр. Октября 69, 450054 Уфа, Российская Федерация; coolagin@list.ru

² Башкирский государственный педагогический университет, естественно-географический факультет, ул. Октябрьской революции 3-а, 450000 Уфа, Российская Федерация

В Башкирском Зауралье на протяжении многих лет при добыче Au широко использовался метод амальгамации. При переработке золотоносных россыпей и переработке золотоносных руд на бегунных фабриках образуются эфельные отвалы, в результате размыва которых формируются интенсивные и протяжённые потоки рассеяния Hg в донных отложениях рек.

Наиболее крупные техногенные ландшафты сформированы в г. Учалы, пос. Миндяк, пос. Мансурово и их окрестностях. Техногенные ландшафты отработанных золотых россыпей выделяются в виде узких полос по долинам рр. Миасс, Уй, Урал и многих их притоков. Применение

амальгамации Au при золотодобыче привело к тому, что в компоненты окружающей среды региона поступило, как минимум, около 70 т техногенной Hg. Hg, поступившая в ландшафт, прочно удерживается грунтами, почвенным покровом и донными отложениями водоёмов и водотоков. Поэтому техногенное ртутное загрязнение окружающей среды, связанное с золотодобычей прошлых лет, будет сохраняться в течение длительного времени. Подтверждением определяющего значения амальгамации при золотодобыче в прошлые годы как первоисточника загрязнения окружающей среды может служить то обстоятельство, что на промплощадке Башкирской золотодобывающей компании, где в настоящее время переработка содержащих Au руд ведётся методом кучного выщелачивания, ртутное загрязнение окружающей среды практически не проявлено.

Районный геохимический фон (ГФ) Hg в породах составляет 30 мкг/кг, в почвах – 40 мкг/кг и донных отложениях водотоков – 12 мкг/кг.

На *Поляковском участке* изучались в основном потоки рассеяния Hg в донных отложениях рр. Уй, Кизникой и Краснохты, связанные с разработкой россыпей, и частично почвы. Наиболее интенсивный – до 15 ГФ, поток рассеяния Hg протяжённостью свыше 5 км установлен по р. Кизникой и связан с отработанной россыпью с. Вознесенка. К её максимуму тяготеет аномалия Hg (до 4,4 ГФ) в почвах. Практически на всем исследованном отрезке р. Уй (около 7 км), в пределах которого проводилась дражная отработка россыпей, прослеживается низкоинтенсивный (в среднем 4 ГФ, с максимумом 8,5 ГФ) поток рассеяния Hg.

На *Калканском участке* изучены донные отложения озёр Ургун, Калкан и р. Урал. В северо-восточной части оз. Ургун выделяются две слабые (2–4 ГФ) аномалии Hg протяжённостью до 300 м в прибрежных донных отложениях на участке разработок элювиально–делювиальной и озёрной россыпей Au. В донных отложениях северо-восточного берега озера установлена протяжённая (до 1,5 км) интенсивная (до 27–8 ГФ в двух точках) аномалия Hg, начинающаяся от устья ручья, дренирующего площадь с аномалиями Au и, по-видимому, Hg. Такая пространственная позиция аномалии свидетельствует о её рудогенной природе. Донные отложения р. Урал изучены в интервале между д. Рысаево и д. Калканово. Они характеризуются низкими близфоновыми содержаниями Hg, и только в центре изученного отрезка зафиксирована локальная аномалия (до 6 ГФ), которая пространственно совпадает с отработкой мелких ложковых россыпей Au на левом борту долины р. Урал.

Миндякский участок характеризуется широким и интенсивным проявлением техногенных процессов, связанных с многолетними разработками россыпей и коренных месторождений Au, переработкой золотой руды на бегунной и обогатительной фабриках, и наличием обширной селитебной зоны пос. Миндяк. Основным источником ртутного загрязнения являются отвалы рудника (до 0,44 мг/кг), хвостохранилища (до 0,06 мг/кг) и эфельные отвалы. Для почв, в пределах селитебной зоны пос. Миндяк, характерно в основном близфоновое распределение Hg. Слабые аномалии (2,4–3,1 ГФ) установлены в отдельных точках вблизи основной автодороги поселка.

Изучение прибрежных донных отложений в оз. Миселе, занимающих центральную часть участка, выявило контрастные различия его западного и восточного берегов: средние содержания Hg в осадках восточного берега, где расположены отвалы рудников, хвостохранилище и эфельные отвалы, составляют только 2,7 ГФ, а западного, ограничивающего пос. Миндяк – 7 ГФ. Такие различия, по-видимому, объясняются высокой заболоченностью западного берега, обуславливающей обогащённость его осадков органическим веществом и, соответственно, высокую сорбцию ими Hg. В донных отложениях р. Клы, вытекающей из оз. Миселе, среднее содержание Hg снижено в 3 раза по сравнению с отложениями озера. Аномальные содержания (до 3,8 ГФ) установлены в истоке реки из озера и постепенно понижаются вниз по течению до фоновых. В атмосферном воздухе пос. Миндяк концентрации Hg составляют 0,4–5,5 пг/л и только около основной автодороги повышаются до 10–14 пг/л (5–7 ГФ).

На *Буйдинском участке* проведены исследования донных отложений по рр. Буйды, Зириклы и Ямьелга и почв на эфельных отвалах и вблизи них в пос. Буйда. Для донных отложений р. Ямьелга характерны близфоновые содержания Hg, и только в 2 точках они аномальные (3,7 и 5 ГФ). Это согласуется с отсутствием рудопроявлений и россыпей Au в бассейне реки. Практически непрерывный поток рассеяния Hg, приблизительно более 12 км (его восточное продолжение в отложениях р. Кидыш не оконтурено), установлен в донных отложениях р. Буйды. Его техногенным источником являются эфельные отвалы бегунной фабрики в пос. Буйда. В почвах, развитых на них, концентрации Hg резко повышены – до 0,69 мг/кг (16,5 ГФ), а в атмосферном воздухе на месте бывшей бегунной фабрики

составляют 61 пг/л (30 ГФ). Максимальных значений достигают концентрации Hg в донных отложениях реки непосредственно вблизи отвалов – 1,34 мг/кг (112 ГФ). Вниз по течению содержания Hg в донных отложениях в целом понижаются, но неравномерно – в зависимости от уклона русла реки, повышаясь на участках его выполаживания и, соответственно, накопления илистых осадков. Высокоаномальные содержания Hg (до 10 ГФ) отмечаются и в донных отложениях р. Кидыш в её наиболее изученной восточной части.

Буйдинский поток рассеяния Hg связан с размывом эфельных отвалов и подтверждается резким понижением содержаний Hg в отложениях выше отвалов по течению. Среднее содержание Hg здесь составляет 2,7 ГФ, а максимальное – 6 ГФ, хотя выше в р. Буйды по отводному каналу поступают подотвальные воды Учалинского рудника. Последнее свидетельствует о низком уровне содержаний Hg в этих водах.

В донных отложениях р. Зириклы установлено 3 интервала с аномальным содержанием Hg. Относительно протяжённый (2,5 км) и интенсивный (до 54 ГФ) поток выявлен в западной части участка за пределами Буйдинского рудного поля. Он пространственно сопряжён с комплексными (с Hg) геохимическими аномалиями в породах и почвах. Второй локальный (0,6 км) интенсивный (до 12,4 ГФ) поток фиксирует также продолжение рудной зоны Ураган-Идрисовского месторождения Au. В 6 км ниже по течению от этого потока установлен третий достаточно протяжённый (1,7 км) менее интенсивный (до 9,4 ГФ) поток Hg. На его участке отсутствуют проявления рудной минерализации и геохимические аномалии в коренных породах. Поэтому его формирование следует связывать с аккумуляцией обогащённых Hg тонких осадков, выносимых с площади Буйдинского рудного поля, вследствие резкого выполаживания русла р. Зириклы при её выходе на предгорную равнину. Отсутствие признаков связи потоков рассеяния Hg, установленных по р. Зириклы, с техногенными источниками и их явная сопряжённость с рудоносными зонами и рудогенными геохимическими аномалиями в породах и почвах указывает на рудогенную природу этих потоков. От Буйдинских техногенных потоков они контрастно отличаются меньшей протяжённостью (до 2,5 км), прерывистым распространением и, в целом, более низкой интенсивностью.

На Учалинском участке исследованы почвы на содержание в них Hg и еще 28 элементов. На карте ореолов рассеяния Hg в почвах окрестностей г. Учалы чётко выявляется ртутное загрязнение территории. Ореол наиболее высоких концентраций Hg в почве от 0,5 до 2,3 мг/кг (12,5–57,5 ГФ) приурочен к промплощадке Учалинского ГОКа. Узкий прерывистый ореол фиксирует ртутное загрязнение почвы вдоль железной дороги Учалы–Миасс, по которой в течении многих лет транспортируются руда и рудные концентраты к потребителям. Небольшой ореол ртутного загрязнения простирается от карьера Учалинского рудника к востоку в промежуток между отвалами (в соответствии с направлением господствующих ветров).

На *Ильинском участке* изучались эфельные отвалы в пос. Ильинка, донные отложения р. Шартымка, почвы в д. Сафарово и её окрестностях и проведены исследования на промплощадке БЗК. Содержания Hg в эфельных отвалах достигают 0,55 мг/кг, а в развитых на них почвах – 0,63 мг/кг (15 ГФ). Концентрация Hg в донных отложениях на участке размыва эфелей составляет 0,68 мг/кг (56 ГФ) и резко понижается вверх и постепенно – вниз по течению реки. Почвы в пределах пос. Сафарово и в 4–5 км к югу и северу от него характеризуются близфоновыми (до 3 ГФ) содержаниями Hg, и только вблизи автодороги в них отмечается незначительное её накопление (5–7 ГФ). На промплощадке БЗК опробование грунтов в непосредственной близости от штабелей («куч») перерабатываемых ртутьсодержащих (0,43–0,67 г/т Hg) окисленных руд Западно-Озёрного месторождения выявило их очень слабое загрязнение Hg (1,75–5,5 ГФ), а в почвах в 300 м от штабелей установлены близфоновые содержания Hg (1–3 ГФ). Содержания паров Hg в атмосферном воздухе на промплощадке БЗК составляют 0,9–18 пг/л (0,5–9 ГФ).

Типоморфной особенностью донных отложений водотоков и водоёмов является преимущественное концентрирование Hg в их тонкой илистой фракции, обусловленное высокой сорбцией Hg глинистыми минералами и органическим веществом (рис.). При этом контрастность разделения илистой и песчаной фракций по Hg уменьшается с возрастанием её валовых содержаний в донных отложениях. Она максимальна (>2,5) в отложениях с близфоновыми содержаниями Hg и незначительна (<1,5) в аномальных потоках рассеяния Hg. Намечается различие рудогенных и техногенных потоков по контрастности разделения фракций: она понижается в техногенных потоках. Повышение содержания Hg в тонкой фракции отложений отражает высокую транспортную способность водотоков в от-

ношении Hg. Отсутствие заметных аномалий Hg в современных водах водотоков свидетельствует о том, что активная миграция Hg во взвешенном потоке привела к формированию контрастных протяжённых техногенных потоков рассеяния Hg в донных отложениях.

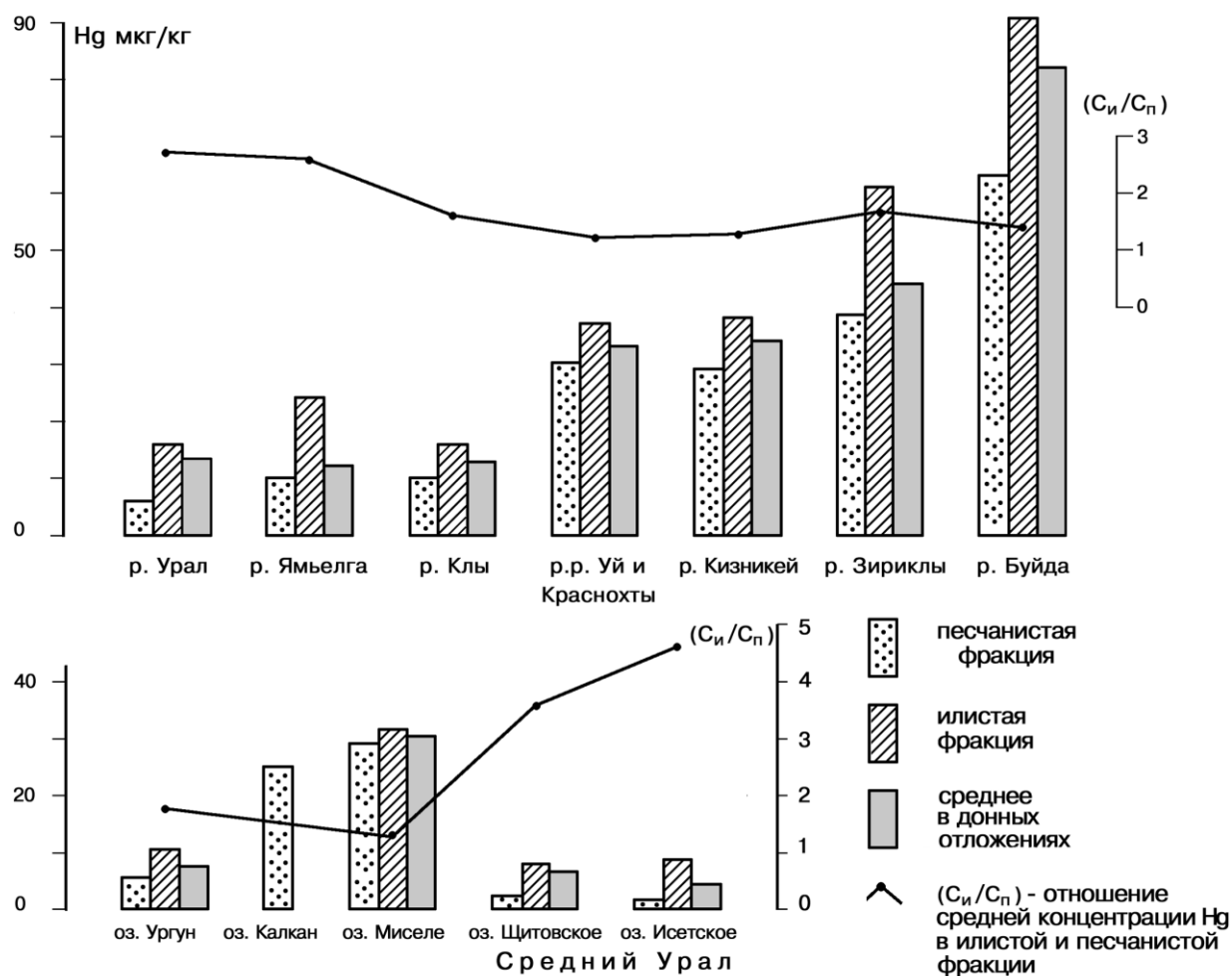


Рисунок – Среднее содержание Hg в песчанистой и илистой фракциях донных отложений и их соотношения

На основании проведённых исследований установлено:

1. Техногенная Hg, связанная с разработкой золотых месторождений, является одним из источников её поступления в ландшафт района и основным источником локального ртутного загрязнения окружающей среды.
2. Наиболее крупными техногенными аномалиями являются потоки рассеяния Hg в донных отложениях водотоков и озёр. Их протяжённость по рекам достигает 12 и более километров. Для потоков, связанных с размывом эфельных отвалов, характерны высокие содержания Hg, достигающие уровня ртутного загрязнения.
3. В донных отложениях Hg накапливается преимущественно в тонкой илистой фракции. Контрастность разделения илистой и песчаной фракций по содержанию Hg уменьшается с возрастанием её валового содержания в донных отложениях: она максимальна ($>2,5$) при близфоновых и незначительна ($<1,5$) при высокоаномальных содержаниях Hg.