

**Результаты исследований загрязнения ртутью реки Нуры
в Центральном Казахстане
и предложения по ее демеркуризации**

М.А.Илющенко, С.А. Абдрашитова, Т.В.Тантон, С.Хевен, Е.П. Янин

Проекты

В 1998 г. было завершено исследование ртутного загрязнения реки Нуры, финансируемое в рамках программ Инко-Коперникус, ИНТАС-Казахстан и МИД Великобритании. Проекты Инко-Коперникус и ИНТАС-Казахстан включали в себя двухгодичную программу полевых и лабораторных работ при участии партнеров из 4-х стран. Грант, выданный Правительством Великобритании, был направлен на продолжение полевых работ и на создание Географической Информационной Системы, необходимой для анализа и представления результатов.

Партнерами по проектам ИНКО-Коперникус “Разработка методов сокращения загрязнения и восстановления окружающей среды на загрязненных ртутью территориях в северо-центральной Казахстане” (Контракт № IC15-CT96-0110) и ИНТАС-Казахстан “Исследование ртути в реке Нуре с целью разработки эффективной стратегии управления загрязненными техногенными илами” (Контракт № 95-37) были Казахская Государственная Архитектурно-Строительная Академия, Химический факультет Казахского Государственного Национального Университета им. Аль-Фараби, Институт Гидрогеологии и Гидрофизики АН РК, при сотрудничестве с Каскеленской Геофизической Обсерваторией и Институтом Микробиологии и Вирусологии АН РК. Иностранцами партнерами являлись Отдел Гражданского Инжиниринга Саутгемптонского Университета в Великобритании (координатор проекта), Университет из Флоренции в Италии и Институт Минералогии, Геохимии и Кристаллохимии Редких Элементов из Москвы. Новый проект ИНТАС, направленный на изучение микробиологических процессов, в том числе образования метиловой ртути в илах и почвах поймы реки Нуры в настоящее время координируются Институтом Экологии Почв из Ньюхэрберга в Германии.

Основное содержание экспедиционных работ

Были оценены масштабы ртутного загрязнения поверхностных и подземных вод, донных и пойменных отложений, почв и грунтов долины реки Нуры и Западной промзоны г. Темиртау. Район экспедиционных работ был ограничен 75-и километровым участком

наибольшего загрязнения ртутью между Самаркандским и Интумакским водохранилищами.

Для изучения паводков 1997 и 1998 гг. были оборудованы и привязаны к существующей государственной геодезической сети гидропосты: на реке Нуре - четыре, на ее притоке-реке Ошаганды - один. Измерение уровня реки и отбор проб поверхностных вод для химических анализов проводили ежедневно по специальному графику.

Для анализа воды на ртуть общую, растворенную и взвешенную также отбирались пробы поверхностных вод реки Нуры, Интумакского и Самаркандского водохранилищ в период полевых сезонов лета-осени 1997 г. и лета 1998 г., грунтовых вод поймы реки Нуры и района промплощадки ПО "Карбид" г. Темиртау - летом 1997 и 1998 гг., подземных вод питьевых водозаборов долины реки Нуры в районе западного пригорода г. Темиртау - осенью 1998 г. Химический анализ проб воды проводили не позже чем через 2-3 часа после их отбора в трех лабораториях в г. Темиртау, две из которых развертывали алматинские институты.

По регулярной сети была проведена геоэкологическая съемка поймы реки Нуры: от пос. Чкалово до пос. Молодецкое (расстояние 50 км) - 250×500 м, от пос. Молодецкое до Интумакского водохранилища (расстояние 25 км) - 250×1000 м. Отбор проб почв проводили из слоя 0-15 см. Отдельно изучалась территория, прилегающая к промплощадке ПО "Карбид".

Также была проведена геодезическая съемка берегов реки Нуры: от моста в г. Темиртау (1 км ниже плотины Самаркандского водохранилища) до пос. Ростовка (расстояние 25 км) - через каждые 250 м, от пос. Ростовка до верхнего бьефа Интумакского водохранилища (расстояние 50 км) - через каждые 1000 м. Погрешность геодезических измерений: 0,025 м по горизонтали и 0,037 м по вертикали.

По обозначенным геодезистами створам было проведено зондирование дна русла реки Нуры, шаг измерений внутри створа составлял 2 м. Измерялась глубина реки, а также мощность иловых залежей. Пробы илов для анализа на ртуть отбирали по специальной статистической программе.

Отдельно производили исследования иловых залежей в рукавах реки и пойменных старичных озерах. Была проведена геоэкологическая съемка всех рукавов реки, имеющих связь с основным руслом в межень, а также всех пойменных озер на участке от Самаркандского водохранилища до пос. Ростовка. Озера, лежащие ниже пос. Ростовка были изучены выборочно.

Иловые залежи в берегах реки исследовались по створам, продолжающим створы в русле реки. Изучение погребенных слоев проводили по скважинам, пройденным с помощью ручных почвенных буров, или копушам. Определяли мощность слоя ила, глубину его залегания и протяженность перпендикулярно руслу реки. Там, где это было возможно, пробы ила отбирали из каждой скважины, там, где толщина слоя ила была незначительной, из копуш отбирали интегральную пробу.

В сентябре 1998 г. был произведен отлов рыбы (карась серебряный и окунь речной) из озера Батакара (40 км выше Самаркандского водохранилища), Самаркандского, Интумакского и Самарского (25 км ниже Интумакского водохранилища) водохранилищ: произведено определение ее возраста, веса и содержания общей и метиловой ртути в рыбном мясе. Также в августе 1998 г. по десяти участкам поймы реки Нуры были собраны интегральные пробы богатых устьицами верхних окончаний (3-5 см) листьев рогоза узколистного, которые были проанализированы на содержание ртути общей.

Химический анализ образцов почв, грунтов, илов и биоматериалов на общее содержание ртути был произведен в семи лабораториях, в том числе - одной в России и одной в Великобритании. Определение метиловой ртути производили в двух лабораториях, в том числе - одной в Германии. Всего было пройдено скважин и копуш - 1446, почвенных шурфов - 10, произведено измерений мощности донных отложений - 4608,

гидрометрических замеров - 2227. Отобрано и проанализировано на ртуть образцов почв и грунтов - 2291, донных отложений - 437, воды - 1676 (в том числе на ртуть - 791), рыбы - 46, растений - 10.

Основные результаты экспедиционных работ

Проведенные исследования дают основание утверждать, что поверхностные воды реки Нуры и подземные воды ее долины содержат ртуть ниже санитарных норм (ПДК_в 0,5 мкг/л) в течении 10-11 месяцев в году за исключением места впадения в нее Главной канавы сточных вод г. Темиртау. Превышение санитарных норм для ртути в поверхностных водах происходит на участке от Самаркандского до Интумакского водохранилищ только в период снеготаяния.

Русло реки между Самаркандским и Интумакским водохранилищами загрязнено значительно меньше, чем было отмечено в предыдущих исследованиях: было обнаружено только около 550 000 м³ илов и около 10 тонн ртути. Основное количество техногенных илов и более 90% ртути приходится на участок реки в 25 км ниже Самаркандского водохранилища. 160 000 м³ илов и 4 тонны ртути дополнительно расположены в рукавах реки, а 290 000 м³ илов и 2 тонны ртути в старичных озерах поймы реки.

Поверхностный почвенный слой поймы реки содержит около 53 тонн ртути. Примерно 3% поймы реки находится в критическом состоянии (концентрация ртути почвенном слое больше чем 10 мг/кг ртути), что составляет 5,8 км² или 880 000 м³ материала. Около 70% этого материала залегает на первых 25 км реки.

Объем илов, примерно равный 1 720 000 м³ и содержащий около 65 тонн ртути погребен в пойме по берегам реки в слоях толщиной до 3 м. Наибольшее количество загрязненного материала (примерно 80% илов и 90% ртути) находится на первых 25 км реки.

Наиболее загрязненными местами с высокой концентрацией ртути являются: промплощадка ПО "Карбид", болото Жаур (площадью около 1 км², 62 тонны ртути), "Старый Золоотвал" КарГРЭС-1 (площадью около 1 км², 32 тонны ртути), территория очистных сооружений ПО "Карбид", берега Главной канавы сточных вод (площадь загрязнения около 0,1 км², 10 тонн ртути).

Содержание ртути в почвах незатапливаемых поливных сельхозугодий, рыбе и листьях водных трав выше фоновых значений на всем протяжении исследованного отрезка реки Нуры и, в целом, коррелирует с уровнем загрязнения ртутью речных отложений. Однако эти содержания только в нескольких максимальных значениях превышают санитарные нормы (ПДК_{почв} 2,1 мг/кг, ПДК_{рыб} 0,3 мг/кг, ПДК_{хищных рыб} 0,6 мг/кг), что связано с низким уровнем загрязнения ртутью поверхностных вод реки Нуры большую часть года.

Моделирование переноса влекомых осадков показало, что при средней интенсивности паводка Интумакское водохранилище в своем современном состоянии сможет удержать только 20% осадков, но при увеличении его объема до проектной величины водохранилище сможет удерживать до 70% осадка.

Основное содержание экспериментальных лабораторных работ

Изучалось влияние внешних факторов на характер протекания в ртутьсодержащих техногенных илах реки Нуры микробиологических процессов сульфатредукции и метилирования. Эксперимент был поставлен в лабораториях Института микробиологии и КазГУ им. Аль-Фараби в 48 стеклянных реакторах объемом 20 л каждый. В реакторы было

помещено по 11 кг ила и около 10 л воды, имитирующей по химическому составу воду реки Нуры.

В реакторах в ходе эксперимента были созданы и поддерживались в течение 6 месяцев следующие условия: температура (8°C или 24°C), наличие органического вещества (до 10% навоза от веса ила), рН (5,5; 7,5 или 9,5), содержание кислорода (аэробная или анаэробная среды), наличие сульфатов (до 2 г/л).

Микробиологический анализ проводили для выявления групп микроорганизмов: метанобразующих, сульфатредуцирующих, метилотрофов (аэробных и анаэробных) и сапрофитов. Одновременно были проведены химические анализы для определения динамики изменения ХПК, общей ртути и метилртути в илах и воде, сульфатов и сероводорода в воде, фракционного состава соединений ртути в илах. Пробы на микробиологический и полный химический анализ отбирали трижды в течение опыта: через месяц после начала опыта, через четыре и шесть месяцев.

Пробы воды отбирали стерильными стеклянными трубками с глубины 20-25 см от поверхности воды. Пробы ила - с глубины 0-5 см от поверхности ила.

Всего было произведено микробиологических анализов - 1470, текущих химических анализов (рН, Eh, O₂) - 1300; периодических химических анализов - 600.

Основные результаты экспериментальных лабораторных работ

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что спонтанная микрофлора реки Нуры принимает активное участие в процессах трансформации форм нахождения ртути.

В условиях повышенных температур (24°C) в илах преобладали процессы сульфатредукции, активность которых была наибольшей в присутствии достаточного количества органического вещества и сульфатов, анаэробных условиях, нейтральных или щелочных рН. Понижение температуры (8°C), рН и исчерпывание органического субстрата подавляло рост и развитие ассоциаций сульфатредуцирующих бактерий.

Данные о появлении труднорастворимых форм ртути в илах коррелировали с результатами микробиологического анализа о развитии сульфатредуцирующих бактерий. Это свидетельствует о том, что при создании оптимальных условий для развития сульфатредуцирующих бактерий в илах реки Нуры идут процессы связывания ртути в малоактивные сульфидные формы.

Развитие метанобразующих бактерий - основных метиляторов ртути, существенно не зависело от дополнительного органического питания и рН. При пониженных температурах (8°C) процесс метанобразования шел наиболее активно, по-видимому, из-за того, что в этих условиях отсутствовала конкуренция за субстрат между метанобразующими и сульфатредуцирующими бактериями. Данные о снижении содержания общей ртути в илах свидетельствуют о том, что наиболее заторможено процессы метилирования шли в аэробных условиях.

При внесении дополнительного органического вещества наиболее активно развивались сапрофитовые бактерии, которые также являются метиляторами ртути. Если учесть, что количество метанобразующих бактерий примерно одинаково как при внесении органического вещества, так и без него - можно говорить о существенном возрастании вклада сапрофитовых бактерий в процессы метилирования ртути в этих условиях.

Анаэробные метилотрофные бактерии были обнаружены главным образом в илах, и их численность коррелировала с изменением численности метанобразующих бактерий. Это свидетельствует о том, что метилотрофные бактерии играют роль естественного биологического фильтра, переводя часть метилртути в ионную неорганическую форму.

Если экстраполировать полученные данные на условия реки Нуры, то можно говорить что при пониженных температурах (8°C) в илах идут процессы метилирования, а процессы сульфатредукции замирают. При 24°C , наличии органического вещества, сульфатов и в отсутствии кислорода процесс сульфатредукции может идти очень активно, но также активно идет и метилирование ртути, обусловленное развитием сапрофитовых бактерий. Уменьшение количества органического вещества приводит к торможению как процессов метилирования так и сульфатредукции. Илы и вода реки Нуры содержат недостаточное количество сульфатов для активного развития сульфатредуцирующих бактерий.

Для поддержания скорости метилирования ртути в илах реки Нуры на более безопасном уровне необходимо внесение избыточного количества сульфатов (например, гипса) и выполнение ограничений на сброс в реку органических веществ, могущих служить питанием для микроорганизмов.

Рекомендации

Учитывая, что ацетальдегидное производство АО Карбид, являющееся источником ртутного загрязнения, прекратило свое существование, существует вероятность того, что проведение недорогих и эффективных работ по удалению ртутьсодержащих осадков, осуществление планирования в области управления водосбором, а также жесткий контроль за выполнением санитарных норм при сбросе оборотных и сточных вод обеспечит безопасное водоснабжение Астаны и прилегающих регионов в течение большей части года. Такие меры будут одновременно полезны и для окружающей среды. Однако, пока до конца еще не ясно, обеспечит ли осуществление **только** этих мер гарантированный стандарт качества питьевой воды, в том числе и для периода весеннего снеготаяния.

В случае использования Нуры в качестве источника водоснабжения Астаны и сельского хозяйства, будет необходимо обеспечить достаточный уровень водопотребления водно-болотных угодий, расположенных в устье реки и находящихся под защитой международных конвенций.

Загрязненные илы в русле реки и мощные иловые залежи по берегам реки, которые могут являться источниками вторичного загрязнения реки, должны быть удалены. Засушливый климат в регионе позволяет безопасно сохранять загрязненные материалы в специальных могильниках выше верхнего водоносного горизонта, если они покрыты, например, 1 м золы с теплоэлектростанции и 0,2 м почвы. Территории, где концентрация ртути в поверхностных слоях почвы превышает предельно допустимые нормы, принятые в Европе, должны быть изъяты из пользования для сельскохозяйственных целей и, в случае наличия финансирования, удалены, хотя это и не является первым приоритетом.

Должно быть завершено строительство водосброса Интумакского водохранилища, чтобы заполнить его до уровня проектного объема, при котором оно сможет функционировать как эффективный отстойный бассейн.

Должны быть установлены такие режимы работ для плотин Самаркандского и Интумакского водохранилищ, которые позволили бы срезать пики весенних паводков, сокращать перенос осадков и предотвращать переполнение Интумакского водохранилища.

Необходимо срочное проведение мер по восстановлению наиболее загрязненных территорий промплощадки АО Карбид и вокруг нее, Болота Жаур и т.д. Восстановительные мероприятия также необходимо провести в городе Темиртау с целью предотвращения образования высокотоксичных частиц пыли и дыма.

Должен проводиться еженедельный мониторинг концентрации форм ртути в поверхностных водах вниз по реке от Самаркандского водохранилища с целью подтверждения результатов данных исследований. Возможности региональных химико-

аналитических лабораторий по анализу неорганической и метиловой ртути должны быть усовершенствованы.

При выполнении условий пунктов 6.3-6.7, скорее всего, канал Нура-Ишим может быть вновь открыт для обеспечения водоснабжения в течение большей части года. Наряду с правильно оперируемой системой водоснабжения и эффективным мониторингом качества воды на канале должны быть установлены адекватные технологии осаждения.