

## Влияние золы гидроудаления КарГРЭС-1 на снижение риска от ртутного загрязнения реки Нуры

*М.А.Илющенко, Е.В.Лапшин, А.Делебарре, Т.В.Тантон*

Река Нура, внутренняя река Центрального Казахстана, берет начало на высоте 1060 м над уровнем моря на северо-западных отрогах Каркаралинских гор, имеет протяженность 978 км, среднемноголетний сток  $0,6 \text{ км}^3$ , 80% которого приходится на весенний паводок, и заканчивается на высоте около 305 м в заповедных водно-болотных угодьях и озерах Тенгиз-Кургальджинской депрессии. Она протекает мимо трех наиболее крупных городов Центрального Казахстана: индустриальных центров Караганда (420 тыс. жителей) и Темиртау (170 тыс. жителей) и новой столицы Казахстана города Астаны (520 тыс. жителей). Средний многолетний сток рек Нуры в районе города Темиртау составляет  $7,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , Астаны –  $19,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , минерализация речной воды в районе г. Темиртау –  $0,6-0,9 \text{ мг/л}$ , рН –  $7,2-8,6$ . До 40-х гг. XX в. эта река была единственным источником водоснабжения немногочисленного населения в этом регионе, в основном, занимающегося сельским хозяйством. Для водоснабжения развивающейся с середины 30-х гг. промышленности и городов Карагандинского региона в бассейне реки Нуры были построены Самаркандское ( $254 \text{ млн. м}^3$ ) и Шерубайнуринское ( $274 \text{ млн. м}^3$ ) водохранилища и широко использовались аллювиальные подрусловые подземные воды. Для водоснабжения Астаны было сооружено Вячеславское водохранилище ( $410 \text{ млн. м}^3$ ) на реке Ишим. Тем не менее, этой воды не хватало, и в 1962 г. было начато строительство канала Иртыш-Караганда протяженностью 458 км и мощностью до  $2 \text{ км}^3$  в год. С 1975 г. этот канал поднимает на 416,6 м в города Караганда, Темиртау и Астана иртышскую воду, имеющую в хвосте канала себестоимость не менее  $\$0,5$  за  $\text{м}^3$  [1]. В советское время эта вода поставлялась потребителям практически бесплатно.

Канал Иртыш-Караганда создал такой избыток воды в регионе, что ее стало возможным широко использовать для поливного земледелия, как вдоль трассы канала, так и в долине реки Нуры. Однако из-за отсутствия достаточного числа потребителей реально достигнутая водоподача канала составила только  $1 \text{ км}^3$  в год. После распада СССР, когда государство было вынуждено переложить на потребителей часть расходов на содержание канала, водоподача сократилась до  $0,3-0,5 \text{ км}^3$ . В настоящее время река Нура рассматривается Международным банком реконструкции и развития в качестве будущей водоснабженческой альтернативы каналу Иртыш-Караганда. Ожидается рост водопотребления в регионе, связанный с бурным развитием новой столицы Казахстана. Между тем использованию реки Нуры для водоснабжения Астаны препятствует ее загрязнение промышленными стоками городов Караганда и Темиртау, расположенных выше по течению.

В 2004 году была начата стадия проектирования по Программе очистки реки Нуры от ртути, загрязняющей ее в результате 47-летнего сброса сточных вод ацетальдегидного

производства. Это производство было запущено на ПО "Карбид", г. Темиртау в 1950 г. ПО "Карбид" за все время своего существования потребил 2351,6 т ртути [2]. До 1975 г. он не имел специальных технологий для очистки сточных вод от ртути, а его общие микробиологические очистные сооружения были предназначены только для очистки от водорастворимых органических веществ. Существуют данные [3], что в середине 60-х концентрация ртути в сточных водах, прошедших очистные сооружения завода, достигала 1,0-50,0 мг/л. Однако в это же время ПО "Карбид" часто сбрасывал сточные воды в реку Нуру, минуя очистные сооружения, ограничиваясь их отстаиванием в прудах-усреднителях [4]. Полевые исследования 1997-98 гг. [5-7] позволили оценить в 135 т количество ртути, депонированной в почве поймы, а также в залежах техногенных илов в берегах, русле, рукавах и пойменных озерах реки Нуры на участке в 70 км ниже города Темиртау.

В 1942 г. в городе Темиртау был запущен первый турбоагрегат тепловой электростанции КарГРЭС-1, достигшей к 1950 г. мощности 271 тыс. кВт (к концу 50-х гг. эта мощность была удвоена, а 60-х – утроена). Электростанция сжигала местные и экибастузские энергетические угли и флотационные отходы карагандинских углеобогатительных фабрик, имевшие зольность 25-50% (Таблица 1). До 1968 г. электростанция сбрасывала золу гидроудаления в реку Нуру в 1 км выше места сброса сточных вод ПО "Карбид". Концентрация взвешенных частиц в шламовых водах КарГРЭС-1 по данным [8] достигала 2500 мг/л, [3] - 8500 мг/л. После 1967 г. электростанция сбрасывала золу в «старый» и «новый» золоотвалы, расположенные рядом с рекой. Зимние аварии часто приводили возобновлению сброса золы в реку Нуру, последний такой случай произошел в 1997/98 гг. (было сброшено около 40,3 тыс. т). Общее количество сброшенной в реку золы можно приблизительно оценить в 6 млн. т.

Таблица 1. Технологические показатели КарГРЭС-1, г. Темиртау с 1950 по 1997 гг.

Год	Выработано электроэнергии, млн. кВт*ч	Количество сожженного топлива, тыс. т	Зольность угля или шламов обогатительных фабрик, %	Транспортировано золы в отвал, расчетные данные, тыс. т
1950	482,3	506,4	25	126,6
1951	547,1	576,1	25	144,0
1952	631,3	682,8	25	170,7
1953	722,9	695,3	25	173,8
1954	862,7	897,5	25	224,4
1955	1018,9	1030,9	25	257,7
1956	1459,9	1445,8	25	361,5
1957	1634,4	1755,5	25	438,9
1958	1792,2	1946,8	25	486,7
1959	1925	1889,5	25	472,4
1960	1751,9	1625,8	25	406,5
1961	1783,5	1655,2	25	413,8
1962	1637,3	1644,6	25	411,2
1963	1258,4	1406,8	25	351,7
1964	1203,9	1328,2	25	332,1
1965	1321,8	1339,9	25	335,0
1966	1264,5	1315,2	25	328,8
1967	1177,9	1146,4	45	515,9
1968	1303,9	1275,8	45	574,1
1969	1396,2	1318,5	45	593,3
1970	1391,7	1356,1	45	610,2

1971	1423,8	1283,1	45	577,4
1972	1459,9	1518,3	45	683,2
1973	1550,3	1489,3	45	670,2
1974	1490	1528,7	45	687,9
1975	1389,9	1462,2	45	658,0
1976	1300,9	1399,8	45	629,9
1977	1343,7	1395,3	45	627,9
1978	1300,5	1416,6	45	637,5
1979	1376,8	1449,5	45	652,3
1980	1300,6	1406,9	45	633,1
1981	792,5	958,1	45	431,1
1982	630,8	914,6	45	409,3
1983	751,3	1026,6	45	462,8
1984	723,9	1042,9	45	469,7
1985	433,9	785,2	48	378,1
1986	537,2	835,1	42	354,2
1987	469,4	817,8	42	342,5
1988	548,3	837,4	42	351,0
1989	613,6	845,9	42	356,9
1990	594,4	800,9	43	341,8
1991	459,6	677,5	43	293,9
1992	234,4	494,9	45	223,2
1993	374,5	652,3	46	299,2
1994	413,6	640,1	45	291,3
1995	414,2	595,7	45	269,3
1996	218,4	389,2	48	186,5
1997	134,6	212,3	46	98,3
			<b>Всего:</b>	<b>19745,6</b>

*Примечания:*

- с 1950 по 1966 гг. КарГРЭС-1 в основном сжигала карагандинский уголь и шламы обогатительных фабрик, имеющие зольность 26-27%, с 1966 г. была переведена на экибастузский уголь с зольностью от 47 до 50%, с 1997 г. работает на шубаркольском угле;
- в таблице при расчете количества транспортированной золы было принято, что зольность угля с 1950 по 1966 гг. имела значение 25%, с 1966 по 1981 гг. - 45%, с 1982 г. использованы данные КарГРЭС-1, рассчитанные из среднегодовой зольности угля;
- до 1968 г. золу сбрасывали непосредственно в реку Нуру (всего было сброшено около 6,0 млн. т);
- старый золоотвал эксплуатировался с 1968 по 1991 гг. (всего было сброшено около 12,4 млн. т);
- новый золоотвал введен в эксплуатацию 24.10.91 г. (всего с 1992 по 1997 гг. было сброшено около 1,4 млн. т);
- приведенные в таблице данные были любезно представлены инженером по технической эксплуатации КарГРЭС-1 Коротковой Н.С., за что мы приносим ей глубокую благодарность.

На Рис.1 приведена типичная кривая изотермы адсорбции хлорида ртути (II) золой Карагандинского угля при различных рН, полученная во время лабораторных исследований [9] и иллюстрирующая уменьшение адсорбции при увеличении кислотности. Проведенные исследования показали, что взвесь золы карагандинского угля в воде с содержанием золы 10 г/л полностью поглощала HgCl<sub>2</sub> из растворов при

естественным рН и концентрации ртути (II) до 1 мг/л. Из более концентрированных растворов  $\text{HgCl}_2$  эта зола поглощала ртуть до насыщения на уровне 0,7 г/кг.

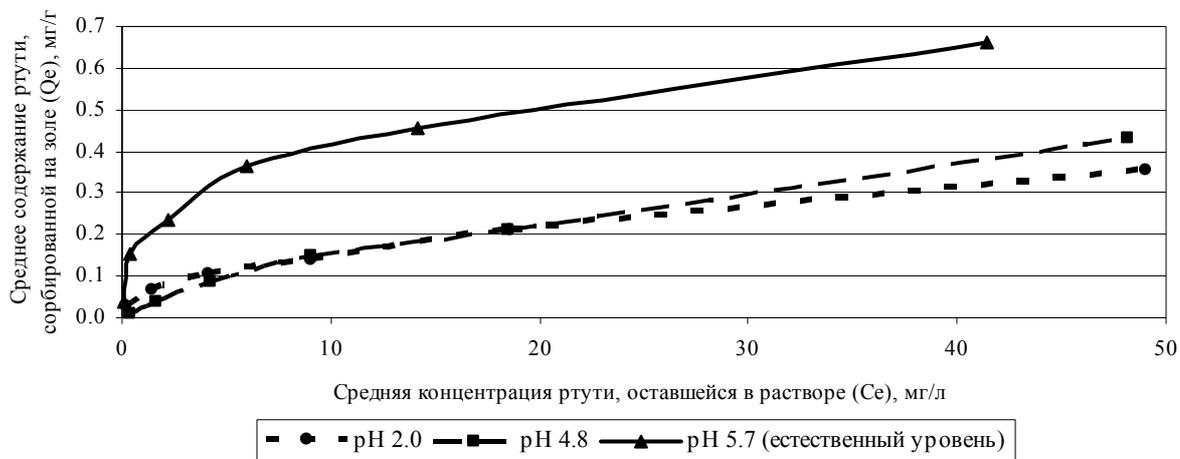


Рисунок 1. Изотермы сорбции ртути на золе, полученной при сжигании карагандинских углей, при различных уровнях рН (начальное значение  $[\text{HgCl}_2]$  изменялось в пределах 0,5-50 мг  $\text{Hg}/\text{л}$ ,  $C_{\text{зола}}=10$  г/л,  $t=25^\circ\text{C}$ , 4-часовой эксперимент)

Зольные материалы образовали в реке Нура новый тип аллювиальных отложений - техногенные илы [10], которые по своим параметрам резко отличаются от естественного руслового аллювия\*. Исследования 1997-98 гг. [5-7] показали, что на первых 30-ти км ниже города Темиртау речное русло выложено этими илами слоем 1-2 м практически повсеместно, иногда их мощность достигает 3,5 м. На этом же участке техногенные илы, вынесенные из русла реки во время паводка, образовали обширные береговые залежи (площадью около 130 га), также достигающие мощности более 3 м. Часто эти береговые залежи имеют прослойки типичного речного аллювия и перекрыты 0,5-1,0 м слоем плодородной почвы, заросшей кустарником. Вблизи города Темиртау техногенные илы имеют типичный вид местной каменноугольной золы (в том числе голубоватый цвет), ниже по течению они смешиваются с большим количеством плодородной почвы, выносимой с созданных в пойме реки поливных полей, и их внешний вид и цвет постепенно изменяются по мере удаления от города. Загрязненные ртутью участки и слои четко приурочены именно к зольным материалам: чем более типичной золой выглядит техногенный ил, тем больше, как правило, содержится в нем ртути. На протяжении 35 км ниже г. Темиртау в русле и берегах реки Нуры настоящее время депонировано около 1 млн. т техногенных илов, загрязненных ртутью свыше 10 мг/кг (западноевропейский критерий вмешательства). Максимальная концентрация ртути в зольных материалах достигает 420 мг/кг сухого веса и приурочена к руслу реки. Почва поймы реки Нуры, загрязненная в слое 0-15 см свыше 2,1 мг/кг ( $\text{ПДК}_n$ ), занимает площадь 2400 га, из них свыше 10 мг/кг – 600 га.

На Рис.2 и 3, а также в Таблице 2 приведены данные, полученные в лабораторных опытах [9] по десорбции ртути из различных зольных материалов. Кривая на Рис. 2 иллюстрирует действие элюентов различной кислотности на ртуть (II), только что осажденную золой карагандинского угля из раствора  $\text{HgCl}_2$ . Из этого рисунка видно, что уже 20% свежесоажденной ртути (II) десорбируется при отклонении рН от нейтрального

\* В [11] было высказано предположение, что состав техногенных илов реки Нуры в некоторой степени также определяется карбидным шламом (гидроксидом кальция) и шламом металлургического комбината Испат-Кармет. Сопоставление объемов сброшенных в реку Нуру взвешенных материалов показывает, что влияние на состав техногенных илов иных, кроме золы, твердых промышленных отходов ничтожно.

значения на 2 единицы рН как в кислую, так и в щелочную область. То же происходит при увеличении ионной силы нейтрального раствора выше 0,1 М. Промывка 1М соляной кислотой или ацетатом аммония золы карагандинского угля, содержащей свежееосажденную ртуть (II), приводит к мобилизации 85% ртути. Состаривание осадков золы с сорбированной на ней ртутью, например, при их высушивании (Таблица 2), приводит к значительному снижению химической мобилизуемости ртути (II). На Рис. 3 приведены кривые десорбции ртути из двух золосодержащих образцов природных нуринских илов с естественным содержанием ртути 20 и 117 мг/кг. Эти кривые иллюстрируют переход сорбированной ртути в более связанное состояние при старении осадков, препятствующее ее сколько-нибудь заметной мобилизации в области рН 4,5-9, и делающих ее более устойчивой к действию буферных растворов и кислот: ацетат натрия, тетраборат натрия и ацетат аммония мобилизовывали не более 2% Hg (II), а сильные минеральные кислоты – только до 45%. Данные Таблицы 2 также иллюстрируют большую прочность связи состаренной золы с ртутью (II) по сравнению с элементарной. Проведенные опыты позволяют предположить химическую природу иммобилизации ртути частицами золы за счет образования оксидных соединений ртути, для которых известно несколько переходящих друг в друга различных модификаций, различающихся химической стойкостью.

В природе, концентрация ртути в воде реки Нуры ниже города Темиртау имеет достаточно низкие значения. Например, нами были получены данные, что в межень осенью 2001 г. даже в наиболее загрязненном месте, 8,2 км ниже места сброса сточных вод города Темиртау, при потоке 16 м<sup>3</sup>/с концентрация ртути общей не превышала 126 нг/л, что было ниже ПДК<sub>в</sub> равной 500 нг/л. Только во время весеннего паводка при потоке около 100 м<sup>3</sup>/с (Таблица 3) концентрация ртути общей в воде превышала ПДК<sub>в</sub> на участке протяженностью около 15 км. Во время большого паводка 2004 г. при увеличении потока до 125 м<sup>3</sup>/с концентрация ртути общей увеличивалась до 4200 нг/л, однако при дальнейшем увеличении расхода воды до 650 м<sup>3</sup>/с концентрация ртути снизилась до уровня 1200 нг/л из-за разбавления. Протяженность участка с загрязнением воды выше ПДК<sub>в</sub> составила весной 2004 г. около 50 км. Фильтрация речной воды через мембранный фильтр 0,45 мкм приводило к ее очищению от ртути до уровня 5-20 нг/л, что свидетельствует о преобладающем переносе ртути вниз по течению не в растворенном состоянии, а в составе речных наносов.

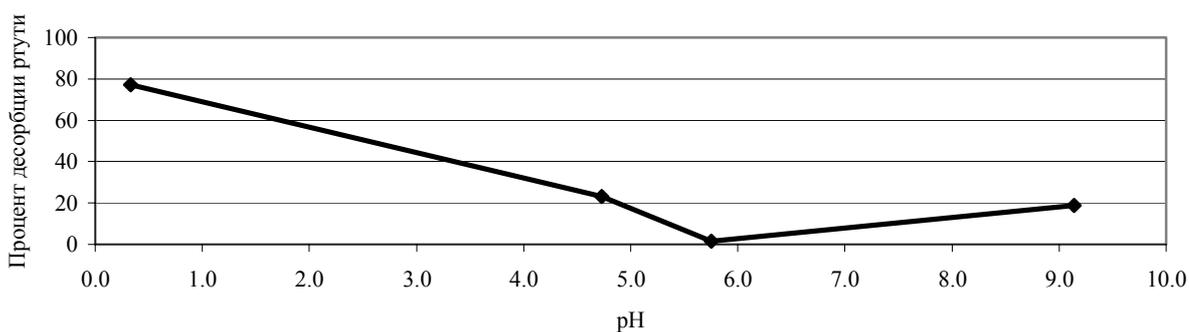


Рисунок 2. Степень десорбции ртути с влажной, загрязненной ртутью золы, полученной при сгорании карагандинских углей, при различных уровнях рН ( $C_{\text{зола}} = 10$  г/л,  $C_{\text{Hg на золе}} = 82-87$  мг/кг в пересчете на сухой вес,  $t=25^{\circ}\text{C}$ , 24-часовой эксперимент)

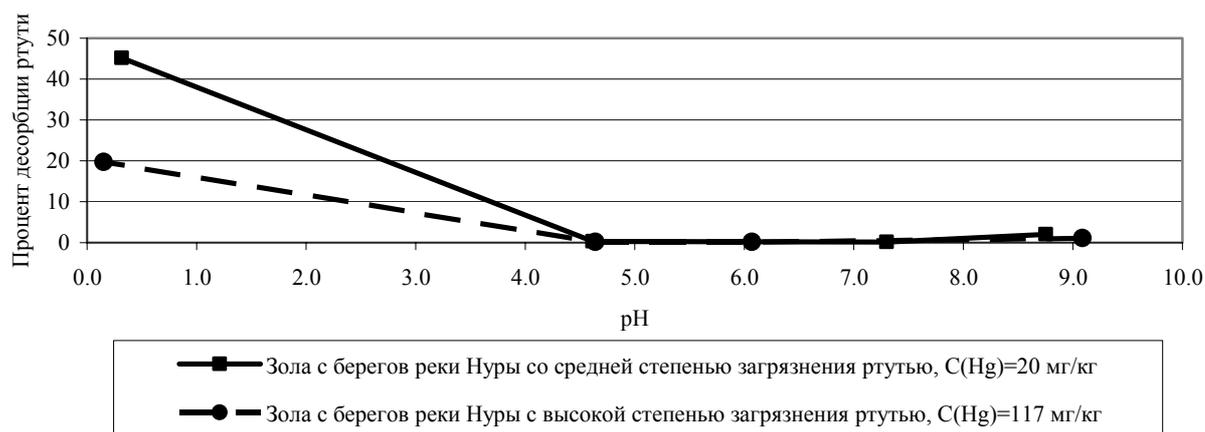


Рисунок 3. Степень десорбции ртути при различных уровнях pH с сухих загрязненных зол, отобранных из береговых отложений реки Нуры ( $C_{\text{зола}} = 10$  г/л,  $t=25^{\circ}\text{C}$ , 24-часовой эксперимент)

Таблица 2. Десорбция ртути с влажных и сухих, загрязненных ртутью зол в 1М раствор ацетата аммония ( $C_{\text{зола}} = 10$  г/л,  $t=25^{\circ}\text{C}$ , часовой эксперимент)

Тип золы	pH в конце эксперимента	Содержание ртути в золе, мг/кг (в пересчете на сухой вес)	Процент десорбции ртути в 1М раствор ацетата аммония
Влажная зола, полученная при сгорании карагандинских углей, загрязненная $\text{HgCl}_2$	6,81	81,5	85,2
Высушенная зола, полученная при сгорании карагандинских углей, загрязненная $\text{HgCl}_2$	6,60	21,0	15,3
Сухая зола, полученная при сгорании карагандинских углей, загрязненная парами элементарной ртути	6,52	283,9	47,3
Зола из береговых отложений реки Нуры (средний уровень загрязнения ртутью)	6,60	20,2	0,2
Зола из береговых отложений реки Нуры (высокий уровень загрязнения ртутью)	6,70	117,1	0,1

Таблица 3. Концентрация ртути общей в образцах поверхностных вод реки Нуры во время паводка 2002 г., период отбора – 8-13 апреля (расход воды в районе Темиртау  $70 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Расстояние от места сброса сточных вод г. Темиртау, км	Средняя концентрация растворенной ртути, нг/л	Средняя концентрация общей ртути, нг/л	Средняя концентрация ртути во взвеси, нг/л	Среднее содержание взвешенных частиц, мг/л	Расчитанная концентрация ртути во взвеси, мг/кг	pH
0		128,47				
1,8	10,50	304,39	203,5	14,8	13,8	7,24

4,6		894,46				
8,4		1043,56				
14,4		824,17				
18,3	5,02	451,25	383,5	34,7	11,1	7,4 6
29,7		377,67				
53	4,40	161,96	116,5	34,6	3,4	7,5 6
71		38,20				
84	2,33	7,93	11,5	28,8	0,4	7,4 6
109		12,79				
167		8,70				
200		5,45				7,6 3
252		6,29				
281		4,08		36,4		
236		6,98				
342		4,74				
381		7,38				
467		3,86				

Мониторинг реки Нуры, проведенный Карагандинским центром гидрометеорологии в 2004 г. [12], в основном, подтверждает приведенные данные. В наиболее загрязненном ртутью месте реки Нуры (5,7 км ниже места сброса сточных вод г. Темиртау) средние концентрации ртути общей составляли: на подъеме паводка – 3970 нг/л, на пике паводка – 1355 нг/л, на спаде паводка – 592 нг/л, в летнюю межень – 580 нг/л, в осеннюю межень – 380 нг/л. При этом уже в верхнем бьефе Интумакского водохранилища (60 км ниже места сброса сточных вод) максимальная концентрация ртути общей на пике паводка составила только 210 нг/л. К сожалению, данные мониторинга 2004 г. не позволяют оценить доли взвешенных, растворенных и органических форм ртути в воде реки Нуры.

Высокая иммобилизация ртути техногенными илами, основу которых составила зола тепловой электростанции, делает дискуссионным обоснование необходимости очистки от ртутьсодержащих донных отложений реки Нуры по проекту Международного банка реконструкции и развития. В своем современном состоянии эта ртуть не представляет очевидного риска для здоровья населения городов Темиртау и Астаны при хозяйственно-питьевом и культурно-бытовом использовании реки даже во время сильных паводков, во время которых происходит значительное перераспределение ртутьсодержащих техногенных илов. Исключение составляет 50-60 км участок ниже места сброса сточных вод г. Темиртау. Жители сел Чкалово, Гагаринское, Самарканд, Тегиз-Жол, Ростовка, Кызыл-Жар, Молодецкое, Волковское и Актобе в течение двух месяцев во время весеннего паводка не имеют возможности безопасного водопотребления из реки Нуры (в настоящее время вода из реки Нуры используется в основном для полива и водопоя скота). Однако этот риск значительно снижается в оставшиеся десять месяцев в году, а также при отстаивании используемых поверхностных вод.

Между тем, при потреблении содержащей ртуть рыбы загрязнение реки Нуры представляет значительный риск для местного населения. Любительский лов рыбы осуществляется на реке Нуре повсеместно, в том числе в устье Главной канавы сточных вод г. Темиртау, а промышленный – в Самаркандском, Интумакском и Самарском водохранилищах, около поселка Сабынды, а также в верхних Кургальджинских озерах. С точки зрения рыбохозяйственного норматива для поверхностных вод, ПДК<sub>р.х.</sub>, равного для ртути общей 10 нг/л, река представляет собой угрозу для населения на всем своем

протяжении ниже г. Темиртау. Вопрос обоснованности и жесткости рыбохозяйственных нормативов неоднократно обсуждался (см. например, [13]). По нашим данным, полученным на относительно небольшом материале (было отловлено 66 экземпляров нехищной рыбы), максимальные содержания ртути в рыбе достигают 1,5 мг/кг (превышение ПДК<sub>нх.р.</sub> в 5 раз) вблизи места сброса сточных вод г. Темиртау и в Самарском водохранилище. По данным [12] (были исследованы 27 экземпляров рыбы) максимальные концентрации ртути в нехищной рыбе достигают 0,8 мг/кг (превышение ПДК<sub>нх.р.</sub> 2,5 раза) вблизи места сброса сточных вод г. Темиртау, а в окуне и щуке - 0,6 мг/кг (на уровне ПДК<sub>х.р.</sub>) в районе с. Киевка.

Необходимо провести более детальные исследования условий биодоступности и метилирования ртути в техногенных илах реки Нуры, ее водохранилищ и пойменных озер, а также накопления ртути по пищевым цепям и в рыбе различных видов (особенно хищных). Только такие исследования смогут явиться обоснованием необходимости очистки реки от ртутьсодержащих техногенных илов, и позволят выработать обоснованный ориентировочно-допустимый уровень (ОДУ) содержания ртути в донных отложениях и береговых залежах техногенных илов.

### Литература

1. T.W.Tanton, M.A.Ilyushchenko, S.Heaven. Some water resources issues of Central Kazakhstan. *Water and maritime engineering*. V.148, № 4, 2001, P. 227-233
2. М.Илющенко, Л.Яковлева, С.Хевен, Е.Лапшин. Загрязнение ртутью реки Нуры. *Промышленность Казахстана* №3 (6), 2001, С. 56-59
3. Б.А.Мусина. Санитарный режим реки Нуры в связи с загрязнением ее промышленными сточными водами. В кн.: *Состояние и задачи охраны природы Центрального Казахстана*. Караганда, 1966. С. 52-53
4. В.Н.Белоусов, Б.Ф.Сидоренко, К.Б.Хаит. Из практики санитарной охраны реки Нуры. *Гигиена и Санитария*, №8, 1965, С.79-81
5. S.Heaven, M.A.Ilyushchenko, T.W.Tanton, S.M.Ullrich, E.P.Yanin. Mercury in the River Nura and its floodplain, Central Kazakhstan: I. River sediment and water. *The Science of the Total Environment*, V. 260, 2000, P. 35-44
6. S.Heaven, M.A.Ilyushchenko, I.M.Kamberov, M.I.Politikov, T.W.Tanton, S.M.Ullrich, E.P.Yanin. Mercury in the River Nura and its floodplain, Central Kazakhstan: II. Floodplain soils and riverbank silt deposits. *The Science of the Total Environment*, V. 260, 2000, P. 45-55
7. М.А.Илющенко, С.А.Абдрашитова, Т.В.Тантон, С.Хевен, Р.П.Янин. Результаты исследований загрязнения ртутью реки Нуры в Центральном Казахстане и предложения по ее демеркуризации. *Информационный экологический бюллетень Республики Казахстан*. III квартал 1999, С. 57-61
8. В.Ф.Охманович. Водные ресурсы Казахстана и Карагандинско-Темертауской агломерации и их использование. В кн.: *Вопросы географии Казахстана*. Вып. 14, Алма-Ата, 1968. С.74-82
9. A.A.Belyustin, A. Delebarre, I.Dyo, A.G.Howard, M.Ilyushchenko, E.Lapshin, L.Pak, N.Kim, Y.Paretskiy. Immobilization of mercury in silts and soils by sorption onto fly ash. In book: *Rewas'04. Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology*. V. III. Madrid, 2004. P. 2333-2342
10. Е.П.Янин. Экогеохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью. *Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов*. Москва 1989, С. 17-20
11. Е.П.Янин. Петрохимический состав и минералогические особенности техногенных илов р. Нуры. Доклады III Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде» (7-9

- октября 2004 г.). Семипалатинский государственный педагогический институт. Семипалатинск 2004, С. 211-217
12. В.М.Стратиенко. Финальный отчет по проекту «Очистки реки Нуры. Компонент Мониторинг реки Нуры». ДГП «Карагандинский центр гидрометеорологии» РГП «Казгидромет». Караганда 2004, т.1, 138 с., т.2, 106 с.
  13. А.Мирошниченко. Прокрустово ложе экологических нормативов. 15 с. <http://www.nature.kz/obsuzhdenie/reformirovanie/7lozhe.pdf>