
МОДИФИКАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ Г. МОСКВЫ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ

И.А. Данилин

Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 113093

Для поддержания питьевых источников и биоразнообразия требуются мероприятия по доочистке сточных вод. Показано, что применение водного гиацинта из семейства понтедериевых (*Pontederiaceae*) уменьшает потенциальный канцерогенный и неканцерогенный риск связанный с содержанием тяжелых металлов в воде.

Ключевые слова: экологический риск, биологическая очистка, дождевые воды, эйхорния, тяжелые металлы, фиторемедиация.

Одним из основных источников поступления ионов тяжелых металлов (ТМ) в организм человека является питьевая вода. Эта проблема особенно остро стоит перед жителями больших мегаполисов. Забор воды для питьевого водоснабжения Москвы производится из открытых поверхностных источников, расположенных на территории Московской, Смоленской и Тверской областей. Трактами водоподачи служат реки Москва, Руза, Озерна, Истра [1].

Однако р. Москва является не только главной водной артерией г. Москвы. В реку сбрасывают дождевые сточные воды. В целях обеспечения очистки поверхностного стока, поступающего в р. Москву с городской территории, построено 27 городских очистных сооружений. Поверхностный сток поступает в реку и через водовыпуски, не оборудованные очистными сооружениями. Основной объем неочищенного поверхностного стока поступает через 41 крупный водовыпуск [2].

На сегодняшний день река еще способна разбавлять и аккумулировать поступающее органическое и неорганическое загрязнение, о чем свидетельствуют данные анализа питьевой воды, размещенные на сайте Мосводоканала [3]. Однако развитие и концентрирование промышленного производства и автотранспорта в городе и за его чертой может привести к росту загрязнения вод р. Москвы и ее притоков, в том числе ТМ.

Целью работы являлось показать эффективность применения гидробиотических методов доочистки сточных вод на объектах «Мосводостока» (на примере водного гиацинта [4]) для управления риском химического загрязнения вод р. Москвы ТМ.

Методология расчета и управления риском воздействия ионов тяжелых металлов при попадании в систему питьевого водоснабжения. При расчете по-

тенциального канцерогенного риска использовался подход Американского агентства по охране окружающей среды (EPA US) [5; 6] и использовалась линейная модель:

$$Risk = UR \cdot ADD,$$

где *Risk* — риск возникновения неблагоприятного эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях; *ADD* — среднесуточная доза, рассчитываемая по формуле

$$ADD = (C \cdot CR \cdot ED \cdot EF) / (BW \cdot AT \cdot 365),$$

где *C* — концентрация вещества в среде обитания, мг/л; *CR* — скорость поступления (количество потребляемой питьевой воды, л/сут); *EF* — частота воздействия, сут/год (при расчетах $EF = 365$); *ED* — продолжительность воздействия, год; *BW* — масса тела человека, кг; *AT* — период усреднения экспозиции, лет (при расчетах $AT = ED$, год); 365 — число дней в году; *UR* — единица риска, определяемая как фактор пропорции роста риска в зависимости от величины действующей концентрации (дозы). Величины *UR* использовались по данным, размещенным на сайте www.scorecard.org [7].

Канцерогенные эффекты оцениваются по беспороговому принципу; нормирование осуществляется по уровню приемлемого риска. Риск представляет собой вероятность (или количество дополнительных случаев) заболевания раком при воздействии оцениваемого фактора.

В соответствии с методикой Американского агентства по охране окружающей среды риск рассчитывался при условии ежедневного потребления данной воды на протяжении всей жизни человека. Расчет дозы поступившего с питьевой водой *ТМ* проводился исходя из условия, что ежедневное потребление питьевой воды составляет 3 л/сут, а масса тела человека — 70 кг. Из официальных материалов EPA, размещенных в Интернете, была использована величина для расчета потенциального канцерогенного риска *UR* для Pb, которая составляла $0,0085 \text{ (мг/кг-сут)}^{-1}$. Для примера рассчитаем канцерогенный риск для ПО «Городня-2», где концентрация ионов Pb до очистки составила 0,002 мг/л. Ежедневно в течение жизни человек потреблял бы с питьевой водой Pb в дозе *ADD*:

$$ADD = 3 \text{ [л/сут]} \cdot 0,002 \text{ [мг/л]} / 70 \text{ [кг]} = 8,57 \cdot 10^{-5} \text{ [мг/кг-сут]}.$$

$$RISK = UR \cdot ADD = 0,0085 \text{ [(мг/кг-сут)}^{-1}] \cdot 8,57 \cdot 10^{-5} \text{ [мг/кг-сут]} = 73 \cdot 10^{-8}.$$

Оценка потенциального неканцерогенного риска проводилась путем вычисления коэффициента опасности для неканцерогенных эффектов (*HI*):

$$HI = ADD/RFC,$$

где *ADD* — среднесуточная доза; *RFC* — референтная (базовая) концентрация, при действии которой на человеческую популяцию, включая ее чувствительные подгруппы, не создается риск развития каких-либо уловимых вредных эффектов в течении всего периода жизни; *HI* — коэффициент опасности для неканцерогенных эффектов: чем больше величина *HI* превосходит единицу, тем более значительную опасность может представлять анализируемое воздействие [8].

В расчетах использовались следующие значения референтных доз: $RFC(\text{Pb}) = 0,0000785$ [мг/кг-сут]; $RFC(\text{Zn}) = 0,3$ [мг/кг-сут]; $RFC(\text{Cu}) = 0,02$ [мг/кг-сут]. Например, для ПО «Городня-2», где концентрация ионов Pb до очистки составила 0,002 мг/л,

$$HI = 8,57 \cdot 10^{-5} \text{ [мг/кг-сут]} / 0,0000785 \text{ [мг/кг-сут]} = 1,0919.$$

Коэффициент корреляции К. Пирсона рассчитывали по формуле

$$r_n = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}.$$

Если $r_n = 1$, то $y_i = ax_i + b$, причем $a > 0$. Если же $r_n = -1$, то $y_i = ax_i + b$, причем $a < 0$. Таким образом, близость коэффициента корреляции к 1 (по абсолютной величине) говорит о достаточно тесной линейной связи [9].

Результаты и их обсуждение. Управление риском осуществлялось путем снижения концентрации ионов ТМ в выбросе дождевой канализации. Технология доочистки сточных вод проводилась при помощи культивирования водного гиацинта (эйхорнии) в прудах-отстойниках.

Эйхорния — растение семейства понтедериевых (*Pontederiaceae*). Его родина — водоемы тропических и субтропических районов Южной Америки. При попадании в водоем растение начинает разрастаться, так что его численность будет увеличиваться с геометрической прогрессией [10. С. 77—78]. Способность к бурному размножению в теплый период времени (температура воды более +18 °С), аккумуляция биогенных элементов за счет развитой корневой системы, а также непереносимость холодов (прекращение размножения при температуре воды менее +12 °С) послужили предпосылкой для успешного применения данного растения для доочистки сточных вод животноводческих комплексов и дождевых канализационных стоков [4].

В соответствии с технологическим регламентом «Очистка и доочистка сточных вод с помощью культуры эйхорнии (водного гиацинта)» и техническим заданием Мосводостока был выполнен расчет и высадка необходимого количества розеток водного гиацинта. Работа проводилась с июля по ноябрь 2007 г. В результате к августу 2007 г. в каждом пруде-отстойнике (ПО) образовалась значительная биомасса данного растения. Как и любое растение, эйхорния накапливает в своих тканях ТМ, содержащиеся в воде. Действительно, как показывают результаты химического анализа, удалось улучшить не только органолептические свойства воды, но и достоверно снизить содержание таких ТМ, как Zn, Cu и Pb (табл. 1).

Доказательством наличия причинно-следственной связи между ростом биомассы водного гиацинта и эффектом очистки сточных вод от химического загрязнения могут служить рассчитанные коэффициенты корреляции (табл. 2).

Таблица 1

**Содержание Zn и Pb в водовыпуске с прудов-отстойников
до и после доочистки дождевых стоков**

(мг/л)

Пруд-отстойник	Концентрация ионов Zn		Концентрация ионов Pb		Концентрация ионов Cu	
	до	после	до	после	до	после
Городня-2	0,029	<0,01	0,0020	0,001	0,0066	<0,001
Крылатское	0,057	0,012	0,0024	<0,001	0,0068	<0,001
Марьино	0,069	0,012	0,0169	0,001	0,0084	0,0012
Марьинский парк-2	0,059	<0,01	0,0120	<0,001	0,0066	<0,001
Нагатинский затон	0,0985	0,016	0,0059	0,0013	0,0058	0,001
Богатырское-2	0,077	0,062	0,0080	0,0022	0,0061	0,0059
Богатырское-3	0,1215	0,037	0,0070	0,0018	0,0154	0,0057
Богатырское-5	0,0820	0,016	0,0090	<0,001	0,0047	0,0028
Золотой рожок	0,1330	0,018	0,0114	0,0012	0,0298	0,0048
Ичка	0,0505	0,0025	0,0020	<0,001	0,0143	0,0030
Ухтомский	0,0620	0,01	0,0031	<0,001	0,0141	0,001
Бирюлевский	0,0787	0,015	0,0061	0,0013	0,0056	0,0013
Городня-1	0,050	0,01	0,0040	0,0018	0,0063	0,001
Северное Бутово	0,089	0,021	0,0090	<0,001	0,0038	0,0019
Ясенево-2	0,017	0,011	0,0020	<0,001	0,0078	0,0057
Ивановское	0,084	0,011	0,0052	<0,001	0,0147	0,0019
Солнцево-1	0,0515	0,015	0,0105	<0,001	0,0086	0,0015

Таблица 2

Коэффициенты корреляции r_n между биомассой и уровнем загрязнения

Вид загрязнения	r_n
Взвешенные вещества	-0,129 ± 0,019
Нефтепродукты	0,034 ± 0,008
Сухой остаток	-0,686 ± 0,039
Хлорид ион	-0,831 ± 0,047
Сульфат ион	-0,716 ± 0,054
БПК ₅	-0,810 ± 0,049
Ион железа	-0,185 ± 0,039
Ион меди	-0,292 ± 0,036
Ион свинца	-0,619 ± 0,048
Ион цинка	-0,111 ± 0,039

Действительно, развитие корневой системы водного гиацинта способствует задержке взвеси, осветлению воды, улучшению органолептических свойств, снижению химического загрязнения. За три месяца вегетации количество розеток водного гиацинта увеличилось с 2—3 шт/м² (в зависимости от объекта) в среднем до 22—27 шт/м². При этом уменьшилась концентрация взвешенных частиц, БПК₅, сухой остаток достоверно уменьшился практически в 2 раза, достоверно уменьшилось содержание хлорид-иона, сульфат иона, содержание ионов ТМ (см. табл. 1). Например, БПК₅ в воде ПО «Ясенево-2» достоверно снизилось за время роста численности этого растения с 6,63 мгО₂/л до 1,2 мгО₂/л.

Результаты расчета коэффициента опасности для неканцерогенных эффектов и величины потенциального канцерогенного риска представлены в табл. 3.

Таблица 3

Величина коэффициента опасности (HI) и риск канцерогенного эффекта (RISK) до и после доочистки сточных вод случае использования воды для питьевого водоснабжения

Пруд-отстойник	HI (Zn)		HI (Cu)		HI (Pb)		RISK (Pb)	
	до	после	до	после	до	после	до × 10 ⁻⁸	после × 10 ⁻⁸
Городня-2	0,0040	0,0001	0,014	0,002	1,09	0,54	73	36
Крылатское	0,008	0,002	0,014	0,002	1,31	0,54	87	36
Марьино	0,010	0,002	0,018	0,002	9,22	0,54	615	36
Марьинский парк-2	0,008	0,001	0,014	0,002	6,55	0,54	437	36
Нагатинский затон	0,014	0,002	0,012	0,002	3,22	0,70	215	47
Богатырское-2	0,011	0,008	0,013	0,013	4,37	1,20	291	80
Богатырское-3	0,017	0,005	0,033	0,012	3,82	0,98	255	65
Богатырское-5	0,012	0,0029	0,010	0,006	4,91	0,54	327	37
Золотой рожок	0,019	0,002	0,063	0,010	6,22	0,65	415	44
Ичка	0,007	0,0003	0,030	0,006	1,10	0,54	72	36
Ухтомский	0,009	0,001	0,030	0,002	1,69	0,54	112	36
Бирюлевский	0,011	0,002	0,012	0,002	3,33	0,70	222	47
Городня-1	0,007	0,001	0,013	0,002	2,18	0,98	145	65
Северное Бутово	0,012	0,003	0,008	0,004	4,91	0,56	327	36
Ясенево-2	0,002	0,001	0,016	0,012	1,09	0,56	73	36
Ивановское	0,012	0,001	0,031	0,004	2,83	0,55	189	36
Солнцево-1	0,007	0,002	0,018	0,003	5,73	0,56	382	36

Анализируя данные расчетов риска, приведенные табл. 3, можно утверждать, что в результате проведенной гидрботанической очистки дождевых сточных вод удалось снизить потенциальный канцерогенный риск, вызванный загрязнением вод ионами ТМ от 2 до 17 раз. Снижен риск проявления неканцерогенных эффектов от 2 до 32 раз. Этот риск был снижен за три летних месяца 2007 г.

При расчете риска было сделано предположение, что сброс воды дождевой канализации попадает в систему питьевого водоснабжения. В реальной ситуации, безусловно, вода будет разбавлена водами принимающего водоема, концентрация ионов ТМ будет снижена, часть ионов металлов будет аккумулирована водными организмами и депонирована в ил. Эти процессы обуславливают соблюдение нормативов для питьевой воды на уровне СанПиН 2.1.4.1074-01, согласно которым содержание ионов ТМ не должно превышать по Pb 0,03 мг/л; Cu 1 мг/л; Zn 1 мг/л; эти концентрации значительно выше тех, которые реально содержатся в сбросной воде ливневых вод. Однако, как показывает оценка риска, даже эти незначительные концентрации могут вызывать дополнительные случаи раковых заболеваний (в случае с ионами Pb), и примененный гидрботанический метод становится эффективным средством для снижения потенциально канцерогенного риска, вызванного ионами ТМ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богомолов М.В. Современные проблемы развития системы водоснабжения Москвы [Электронный документ] 2005 // <http://www.mosvodokanal.ru/waterwork/waterwork1>
- [2] Официальный сайт Государственного унитарного предприятия «Мосводосток» // <http://www.mosvodostok.com/recv/grand>

- [3] Официальный сайт Государственного унитарного предприятия «Мосводоканал» <http://www.mosvodokanal.ru/>
- [4] Кручинин Н.А., Николаева Г.М., Дмитриев А.Г. и др. Патент на изобретение: Способ очистки стоков и воды водоемов от токсикантов // Бюл. № 25 от 10.09.2005.
- [5] Duffus J.H., Park M.V. Chemical Risk Assessment // Training Modul 3. — UNEP/IPCS. 1999.
- [6] Сынзыныс Б.И., Тянтова Е.Н., Момот О.А., Козьмин Г.В. Техногенный риск и методология его оценки: Учебное пособие. — Обнинск, 2005.
- [7] Scorecard's Guide to Health Risk Assessment/2005 // http://www.scorecard.org/chemical-profiles/def/hra_guide.html
- [8] Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. — М.: Изд-во МГУ, 2004.
- [9] Урбах В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. — М.: Медицина, 1975.
- [10] Махлин М.Д. Аквариумные растения западного полушария. — М.: Компания дельта, 2002.

HEALTH RISK MODIFICATION BY HEAVY METALS CONCENTRATION REDUCE IN RAIN WATER MOSCOW CANALIZATION

I.A. Danilin

Ecological Faculty
Peoples Friendship Russian University
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

The actions for cleaning water requires surface water quality to be high enough to support fish and wildlife populations, protect drinking water sources and be allow able for human recreation. It was used the biological purification process of rain water canalization ponds by heavy metals depositing in the *Pontederiaceae* tissue. It was shown that using *Pontederiaceae* for clearing rain water canalization decreases health risk assessment by reducing heavy metals.

Key words: ecological risk assessment, biological purification, rain water, *Eichhornia crassipes*, heavy metals, phytoremediation.