

6. Васильев В.П. Лабораторный практикум : Пособие для вузов. — М. : Дрофа, 2004. — 416 с.
7. Лурье Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод. — М. : Химия, 1966. — 280 с.
- Поступила в редакцию 28.09.09

## The Investigation of Tripoli Application for Water Mediums Purification

*Anisimov V.S., Martynov P.N., Merkov S.M., Petrov K.V., Podzorova Ye.A., Chaban A.Yu., Shilina A.S.*

*JSC «Obninsk Center for Science and Technologies», Russia*

The sorption capacity of tripoli for ions as  $\text{Ca}^{2+}$  —  $17 \pm 2$  mg/g,  $\text{Ni}^{2+}$  —  $11 \pm 1$  mg/g,  $\text{Fe}^{3+}$  —  $15 \pm 1$  mg/g,  $\text{Pb}^{2+}$  —  $10 \pm 1$  mg/g,  $\text{F}^-$  —  $15 \pm 1$  mg/g is determined. The sorption capacity of tripoli by phenol amounts  $1,0 \pm 0,1$  mg/g. It is determined that tripoli is an effective sorbent for phenol, benzopyrene, petroleum products and synthetic surfactants from water mediums. The method of tripoli chemical modification for the sorbent sorption properties improvement is proposed. The obtained complex sorbent is effective for water hardness decrease.

**Key words:** tripoli, sorption capacity, specific surface area, cation exchange capacity, diffusion, complex sorbate, contaminations, water purification.

Received September 28, 2009

УДК 504.064.4:658.567.1

## Экологические аспекты введения сточных вод в грунт (Обзор)

*Степовая Н.Г.*

*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

Рассмотрены экологические проблемы, возникающие при фильтровании в грунт очищенных сточных вод. Приведено описание экспериментальных исследований разных авторов, проведенных во многих странах. Особое внимание уделено влиянию на экологию местности и на здоровье людей ионов тяжелых металлов и микробиологических загрязнений, содержащихся в сточной воде. Рассмотрены мероприятия, способные снизить негативные последствия введения сточных вод в грунт.

**Ключевые слова:** инфильтрация, повторное использование сточных вод, ионы тяжелых металлов, микробиологические загрязнения.

Розглянуто екологічні проблеми, що виникають при фільтруванні в ґрунт очищених стічних вод. Наведено опис експериментальних досліджень різних авторів, проведених у багатьох країнах. Особливу увагу приділено впливу на екологію місцевості та на здоров'я людей іонів важких металів та микробиологічних забруднень, що містяться у стічній воді. Розглянуто заходи, здатні знизити потенціальні негативні наслідки введення стічних вод у ґрунт.

**Ключові слова:** інфільтрація, повторне використання стічних вод, іони важких металів, микробиологічні забруднення.

Ежедневно в процессе водопользования образуется большое количество сточных вод, которые после соответствующей очистки должны быть определенным образом утилизированы. На многих промышленных предприятиях применяются оборотные схемы водоснабжения, при которых очищенные стоки вновь используются в производстве. С бытовыми сточными водами ситуация обстоит иначе. Как правило, эта категория сточных вод после очистки сбрасывается в близлежащий проточный водоем. Например, на Бортнической станции аэрации ежедневно обрабатывается 1,3 млн м<sup>3</sup> сточных вод г. Киева, поступающих в конечном итоге в р. Днепр. Однако не всегда такое решение бывает оптимальным.

В населенных пунктах с подземными источниками водоснабжения, где, как правило, поверхностные водоемы либо отсутствуют, либо являются экологически чувствительными (например, замкнутые водоемы) допускается фильтрование соответствующим образом очищенных сточных вод в грунт. Такая схема утилизации стоков очень часто используется также на малых локальных очистных сооружениях (например, в отдельно расположенных коттеджах при децентрализованной очистке). Большое количество сточных вод фильтруется в грунт также в случае повторного использования очищенных сточных вод в сельском хозяйстве.

Сельское хозяйство является самым большим в мире потребителем воды. По данным ФАО (Организации ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства), в 2002 г. для целей полива расходовалось около 70 % (а в некоторых странах более 90 %) всей потребляемой человечеством воды. Рост населения, а также климатические изменения приводят к еще большей потребности сельского хозяйства в водных ресурсах. При этом примерно 10 % населения Земного шара потребляет продукты, которые поливаются сточными водами [1].

Сточные воды и содержащиеся в них биогенные вещества рассматриваются как важный ресурс не только в развивающихся, но и в экономически развитых странах. Например, в Калифорнии (США), согласно данным Комитета по вопросам водных ресурсов штата, около 67 % всех стоков используется для целей ирригации. В Израиле эта цифра достигает 75 % [2]. В регионах с централизованным водоснабжением образуется 35–200 л сточных вод на человека в сутки (12–70 м<sup>3</sup>). Конкретная цифра зависит от степени благоустройства, климатических условий, а также режима подачи воды (бесперебойная подача или только в отдельные

часы суток) [3, 4]. Сточных вод от города с населением 1 млн чел. достаточно, чтобы обеспечить поливом 1500–3500 га сельхозугодий. Для Украины, значительная территория которой находится в зоне дефицита влаги, возможность повторного использования сточных вод для полива является насущной необходимостью [5–7].

Использование сточных вод для целей ирригации сокращает потребность введения в почву химических удобрений и является важным аспектом повторного использования содержащихся в стоках биогенных веществ. При типичной гидравлической нагрузке 1,5 м/год (то есть 1,5 м<sup>3</sup> поливочной воды на 1 м<sup>2</sup> орошаемых земель в год) очищенные бытовые сточные воды могут обеспечить 1 га орошаемой земли 225 кг азота и 45 кг фосфора в год, что позволяет существенно сократить, а для некоторых культур и отменить использование удобрений, уменьшая при этом себестоимость выращиваемой сельхозпродукции и негативные воздействия на окружающую среду, возникающие вследствие добычи фосфорита и апатита, а также производства химических удобрений [8].

Однако фильтрование воды в грунт, происходящее в результате полива и при утилизации избыточно образующихся стоков, связано с возможностью возникновения определенного негативного воздействия на окружающую среду и на здоровье людей. Содержащиеся в стоках вещества могут накапливаться в грунте, загрязнять подземные водные горизонты, изыматься орошаемыми растениями, которые впоследствии используются как продукты питания населения или как корм в сельском хозяйстве. К сожалению, украинская законодательная база по данному вопросу еще не полностью приведена в соответствие с международными стандартами [9]. Хотя и были приняты некоторые законы и нормы (Закон Украины «Про охорону навколишнього природного середовища», ВБН 46/33-2.5-5-96 «Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування»), частично продолжают действовать нормативные документы, принятые еще во времена СССР (СНиП 2.04.03-85. «Канализация. Наружные сети и сооружения», СНиП 2.06.08-85. «Мелиоративные системы и сооружения»).

Целью данной работы является анализ зарубежных исследований в области фильтрования сточных вод в грунт для выяснения возможных негативных последствий на окружающую среду, здоровье человека, а также установление мероприятий по их минимизации.

Как правило, современные очистные сооружения вне зависимости от применяемых устано-

вок (различные модификации аэротенков, био-фильтров, мембранные технологии и т.д.) позволяют снизить содержание органических соединений, а также соединений азота и фосфора до значений, которые не представляют опасности для окружающей среды. Более того, являясь элементами питания растений, остаточные концентрации вышеперечисленных веществ преобразуются в конечном итоге в экологически чистую биомассу [5, 8, 10].

Более негативное воздействие на экологию и здоровье людей оказывают ионы тяжелых металлов, а также микробиологические загрязнения. Рассмотрим эти две проблемы более подробно. Вначале проанализируем описанные в специализированной литературе наблюдения, касающиеся содержащихся в сточных водах ионов тяжелых металлов.

В Дикинсоне (Северная Дакота, США) исследования показали, что при переходе на полив кормовых трав очищенной сточной водой содержание в них бора увеличилось на 28 %, марганца — на 47 %, цинка — на 68 %. Однако эти значения находились в пределах ПДК. Содержание кадмия, хрома, кобальта, свинца и молибдена не изменилось, а меди уменьшилось на 8 % [11].

В Сан-Анджело (Техас, США) очищенные сточные воды в течение многих лет применялись для полива кормовых трав. Как показали проведенные исследования, это не привело к увеличению содержания кадмия, меди и цинка выше фонового содержания этих металлов. Только содержание хрома и никеля было выше фоновых значений, однако не превышало нормативных величин [12].

Исследования, описанные в работе [13], показали, что очищенная до нормативных значений сточная вода не оказывала негативного влияния на помидоры, брокколи, кормовые травы, рожь, пшеницу, ячмень, люцерну, бобы, морковь, салат, горошек, редис и кукурузу.

В Мельбурне (Австралия) на территории, где в течение 76 лет для целей ирригации использовались очищенные сточные воды, не отмечалось сколько-нибудь существенного накопления кадмия в грунте и растениях по сравнению с территориями, где для орошения использовалась чистая вода [14].

В Исфакане (Иран) за 40 лет использования сточных вод в сельском хозяйстве не наблюдалось заметного увеличения содержания цинка, магния, меди и железа в корневом слое (40 см). Однако зафиксированная концентрация этих металлов в поливаемых стоками кукурузе, пшенице и помидорах была значительно

выше, чем в аналогичных видах растений, орошаемых подземными водами, хотя значения допустимых концентраций не были превышены ни разу [15].

В исследованиях, проведенных в Австралии [16], орошение очищенными стоками не приводило к каким-либо экологическим последствиям, хотя в канализационную систему сбрасывались также и сточные воды местного металлургического комбината.

В Харунабаде (Индия) орошение бытовыми сточными водами в течение 35 лет привело к повышению содержания свинца и меди в поверхностном слое грунта глубиной до 15 см: концентрация свинца возросла от 8 до 9 мг/кг, а меди — от 22 до 87 мг/кг. Повышения содержания цинка, кобальта, хрома и марганца зафиксировано не было. Однако ни по одному из металлов уровень ПДК достигнут не был. Скорость аккумуляции в грунте свинца и меди такова, что в ближайшие десятилетия не должно возникнуть никакой угрозы для окружающей среды, хотя рекомендовано проводить мониторинг территории [17].

Сравнение степени адсорбции тяжелых металлов разными видами растений в случае орошения сточными водами, наполовину разбавленными сырой водой, и в случае применения обычной воды показало, что количество аккумуляемых тяжелых металлов зависит не только от концентрации их ионов в воде, но и от вида поливаемых растений. При этом не всегда при применении смеси обычной воды и стоков наблюдалось повышение содержания тяжелых металлов по сравнению со случаем использования для ирригации чистой воды [17].

Более чем 80-летний опыт использования сточных вод для целей орошения в одном из районов Мексики показал увеличение исходного содержания металлов в почве в 3–6 раз. Однако концентрации этих металлов оставались ниже тех значений, которые регламентируются международными нормами. Установлено также, что металлы закрепляются в почвенном слое благодаря наличию в нем органических соединений [18].

Данные, полученные в работе [19], показали, что содержание в почве кадмия в количестве 0,4–0,5 мг/кг приводит к концентрации этого металла в выращиваемом на таком грунте рисе 0,08 мг/кг, тогда как рис, выращенный на почве, содержащей 0,82–2,10 мг/кг, уже является крайне загрязненным и имеет концентрацию кадмия 1 мг/кг.

Согласно данным ФАО, в 2003 г. в Египте, в дренажной системе Бар-Багадара, 75 % ис-

пользуемых для ирригации вод составляли сточные воды. Поливаемые такой водой грунты содержали кадмия 5 мг/кг, что вдвое превысило типичные для египетских почв концентрации этого металла. Выращиваемый на таком грунте рис содержал кадмия 1,6 мг/кг.

Иногда для целей полива используют не только очищенные бытовые, но и промышленные сточные воды. Так, в работе [20] описан шестилетний опыт применения стоков, содержащих медь, кадмий, свинец и цинк, для полива тростника и маиса, при котором не было зафиксировано негативного влияния на вскармливаемых данными культурами овец. Однако, когда, кроме сточных вод, которыми производился полив, еще и в качестве удобрения в течение семи лет использовался активный ил из очистных сооружений, в здоровье овец возникали некоторые отклонения.

В работе [21] описан опыт использования смеси чистой воды и стоков текстильной фабрики для полива риса и фасоли. Благодаря присутствующим в сточной воде органическим веществам, а также соединениям азота и фосфора, добавление сточной воды приводило к повышению урожайности этих растений. Однако если содержание сточных вод в смеси превышало 75 %, наблюдался обратный эффект: сточные воды ингибировали рост орошаемых культур.

В Индии орошение кокосовых деревьев сточными водами бумажной фабрики привело к превышению в плодах ПДК по меди, свинцу, цинку, кобальту и кадмию [22].

В работе [23] исследовалось влияние на возделываемый рис полива смесью чистой и сточ-

ной воды после целлюлозно-бумажного комбината, взятых в разных соотношениях. Установлено, что увеличение в смеси доли сточных вод негативно влияло на развитие растений, задерживало их рост и вызывало пигментацию.

В работе [24] описаны проводимые в течение восьми лет эксперименты по орошению четырех сортов пшеницы сточными водами маслозавода. Параллельно осуществлялся полив контрольной группы растений чистой водой. В результате исследований наблюдалось возрастание урожайности пшеницы, хотя и указывалось на необходимость регулярного контроля за уровнем содержания тяжелых металлов.

Проводились исследования по ирригации грунтов, имеющих разные величины рН (включая кислые почвы), гранулометрический состав (180–2000 мкм), содержание органических веществ (0 и 6,3 мг/л), сточными водами, содержащими кадмий, хром и свинец (до 100 мг/л) при изменении гидравлической нагрузки от 0,3 до 0,7 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в час. В ходе экспериментов было показано, что содержащиеся в воде ионы тяжелых металлов быстро адсорбируются почвой (даже при рН 4,3). Наиболее влияющим на интенсивность адсорбции фактором оказалась концентрация тяжелых металлов в сточной воде [25].

Кроме содержащихся в стоках ионов тяжелых металлов, существенную проблему представляют микробиологические загрязнения. В сточных водах могут содержаться патогенные организмы (бактерии, гельминты, простейшие, вирусы), которые способны привести к загрязнению не только орошаемых грунтов и растений, но и водоносного горизонта. Если при превышении уровней ПДК по ионам тяжелых метал-

### Мероприятия по сокращению количества патогенных организмов (N) в растениях, орошаемых сточными водами

Мероприятие	N, лог. ед.*	Примечание
Очистка сточных вод	до 6	Зависит от выбранной схемы очистки
Локальная капельная ирригация низкорастущих плодов	2	Корнеплоды и растения, которые хотя и растут на поверхности, но непосредственно контактируют с почвой
То же, высокорастущих плодов	4	Растения, плоды которых не имеют непосредственного контакта с почвой
Контролируемое спринклерное орошение	1	Использование микроспринклеров, спринклеров с контролируемым направлением струи
Создание санитарной зоны вокруг места спринклерного орошения	1	Рекомендуемый размер санитарной зоны 50–100 м; мероприятие направлено на защиту населения, живущего вблизи зоны орошения
Естественное отмирание	0,5–2 в день	Отмирание патогенных организмов на поверхности растений в период между последним орошением и потреблением урожая (зависит от температуры, влажности, освещенности, типа растений и т.д.)
Промывка чистой водой	1	Мытье растительной продукции, потребляемой в сыром виде, чистой водой
Дезинфекция	2	Мытье растительной продукции слабым дезинфицирующим раствором с последующим ополаскиванием чистой водой
Удаление кожуры	2	Удаление кожуры с фруктов и корнеплодов
Термообработка	6–7	Погружение растительной продукции в кипящую воду при приготовлении пищи

\* Логарифмическая единица, например, 10<sup>6</sup> = 6 лог.ед.

лов и другим химическим загрязнениям токсическое воздействие на организм человека наступает только при регулярном потреблении загрязненной продукции, то патогенные организмы способны вызвать болезни даже при однократном употреблении зараженных продуктов. При фильтрации сточных вод через грунты, обладающие высокой степенью пористости или имеющие дефекты (трещины, глубокие норы и т.д.), такие организмы могут вызвать загрязнение водоносных горизонтов. При этом гельминты и простейшие благодаря достаточно большим размерам легко задерживаются верхними слоями почвы. Однако ооцист вида *Giardia* и *Cryptosporidium* очень часто обнаруживают в грунтовых водах [26]. Вирусы и бактерии меньше, чем гельминты и простейшие, а следовательно, легче перемещаются в грунте. Некоторые вирусы могут не только достигать грунтовых вод, но и переноситься на большие расстояния, мигрируя в вертикальном и горизонтальном направлениях. В таблице, составленной на основе данных [8], приведены мероприятия, проведение которых способно сократить количество патогенной микрофлоры в растениях, для полива которых используется сточная вода, а также количество микроорганизмов, удаляемых при применении данных методов.

В последние годы более острой стала проблема химических загрязнений. Число токсических органических соединений, используемых не только в промышленности, но и в быту, становится все больше. Такие соединения способны оказывать существенное влияние на здоровье человека. Особое внимание данному вопросу следует уделять в местах с большим количеством промышленных предприятий, сбрасывающих свои стоки (даже после очистки) в сеть бытовой канализации. При орошении такими сточными водами следует контролировать не только состав самой воды, но и содержание этих соединений в почве. Согласно рекомендациям ВООЗ (Всемирной организации охраны здоровья), концентрация бензола в грунте не должна превышать 0,14 мг/кг, инсектицида ДДТ (дихлородифенилтрихлорэтана) — 1,54, диоксина — 0,00012, гексахлорбензола — 1,4, стирола — 0,68, тетрахлорэтана — 1,25, тетрахлорэтилена — 0,54, толуола — 12, трихлорэтана — 0,68 мг/кг [8].

### Выводы

Для обеспечения экологической безопасности территорий, на которых происходит фильтрация сточных вод в грунт, следует не только контролировать их состав, но также проводить регулярных мониторинг грунтов, особенно с це-

лю контроля содержания ионов тяжелых металлов, способных накапливаться в почве.

Фильтровать в грунт следует только предварительно очищенные бытовые сточные воды или смесь очищенных бытовых и производственных стоков. Недопустимо введение в почву промстоков с высоким содержанием ионов тяжелых металлов.

Желательно проверять концентрацию загрязняющих веществ в сточных водах и грунтах не только на соответствие отечественным нормам, но и на соблюдение международных стандартов, например, рекомендаций ВООЗ [8].

Хотя обеззараживание сточных вод после очистки и предусмотрено действующими в Украине нормами [3], практика показывает, что по различным соображениям (обработка воды ультрафиолетом является дорогостоящим мероприятием, а традиционно используемые соединения хлора могут негативно сказываться на принимающей очищенные стоки экосистеме) от обеззараживания отказываются. В этом случае снизить уровень микробиологических загрязнений возможно, используя методы, описанные в приведенной выше таблице.

При соблюдении вышеперечисленных мероприятий очищенные стоки являются не только надежным источником пополнения водных ресурсов, используемых для полива в сельском хозяйстве, но благодаря наличию в них биогенных элементов позволяют снизить количество вносимых в почву удобрений.

### Список литературы

1. Smit J., Nasr J. Urban agriculture for sustainable cities : using wastes and idle land and water bodies as resources // *Environment and Urbaniz.* — 1992. — Vol. 4, № 2. — P. 141–152.
2. Arlosoroff S. Integrated approach for efficient water use — Case study : Israel // *World Food Prize Intern. Sympos. «From the Middle West : Managing Freshwater Shortages and Regional Water Security»*, Des Moines, 24–25 Oct., 2002. — P. 145–151.
3. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения / ЦИТП Госстроя СССР. — М., 1986.
4. Helmer R., Hespagnol I. Water pollution control — a guide to the use of water quality management principles. — London : E&FN, 1997.
5. Котельчук А.Л. Обґрунтування технології підготовки господарсько-побутових стічних вод для використання їх в системах зрошення : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Київ, 2008. — 24 с.
6. Хоружий П.Д., Чернокозинський А.В. Повторне використання стічних вод у сільськогосподарському виробництві // *Вісн. аграр. науки. Спецвип.* — 2005. — С. 75–77.

7. Котельчук А.Л. Використання доочищених стічних вод як резерв економії водних ресурсів // Меліорація і водне господарство. — 2007. — Вип. 95. — С. 251–259.
8. WHO: World Health Organisation, Guidelines for Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater (Vol. 2: Wastewater Use in Agriculture). — Geneva, 2006.
9. Степова Н.Г., Кушка О.М. Держстандарти України за напрямками водопостачання та водовідведення : Аналіз та зауваження // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. — 2003. — № 2 — С. 43–50.
10. Hegemann W., Teschner K. Dezentrale Abwasserreinigung zur Erzeugung eines hygienisierten Ablaufs fuer die landwirtschaftliche Bewaesserung // GWF-Wasser/Abwasser. — 2008. — № 13. — S. 4–11.
11. Long-term effects of land application of domestic wastewater / Benham-Blair & Affiliates, Inc., Engineering Enterprises, Inc. — Washington, DC : United States Environmental Protection Agency (EPA-600/2-79-144), 1979.
12. Hossner L.R., Kao C.W., Waggoner J. Sewage disposal on agricultural soils; chemical and microbiological implications. — Washington, DC, 1978.
13. USEPA. Land treatment of municipal wastewater. — Washington, DC : United States Environmental Protection Agency (EPA 625/1-81/013), 1981.
14. Wastewater: treatment, reuse and disposal / Metcalf & Eddy, Inc. — New York : McGraw-Hill, 1991.
15. Feizi M. Effect of treated wastewater on accumulation of heavy metals in plants and soil // Environm. Geology and Water Sci. — 2001. — Vol. 17, № 1. — P. 47–50.
16. AATSE. Water recycling in Australia. — Melbourne : Austral. Acad. Technol. Sci. Eng., 2004.
17. Simmons R.W., Pongsakul P. Toward the development of an effective sampling protocol to «rapidly» evaluate the distribution of Cd in contaminated, irrigated rice-based agricultural systems // Transactions of the 17th world congress of soil science, Bangkok, 14–21 Aug., 2002. — P. 28–35.
18. Siebe C., Fischer W. Effect of long term irrigation with untreated sewage effluents on soil properties and heavy metals absorption of leptosols and vertisols in Central Mexico // Pflanzenernahrsm Bodenk. — 1996. — № 159. — P. 357–364.
19. Morishita T. Environmental hazards of sewage and industrial effluents on irrigated farmlands in Japan. — Kent : Pescod MB, Arar A, eds., 1988.
20. Sidle R.C., Hook J.E., Kardos L.T. Heavy metal application and plant uptake in a land disposal system for wastewater // J. Environm. Qualify. — 1976. — Vol. 5, № 1. — P. 97–102.
21. Ajmal M., Khan A.U. Effect of textile factory effluent on soil and crop plants // Environm. Poll. — 1985. — № 37. — P. 131–148.
22. Fazel M. Effect of paper mill effluents on accumulation of heavy metals in coconut trees near Nanjangud. — Karnataka, India : Mysore, 1991.
23. Misra R., Behera P. The effect of paper industry effluent on growth, pigment, carbohydrate and protein of rice seedlings // Environm. Poll. — 1991. — № 72. — P. 159–167.
24. Aziz O. Long-term effects of irrigation with petrochemical industry wastewater // J. Environm. Sci. and Health. — 1996. — Vol. 31, № 10. — P. 2595–2620.
25. Lee S. Sorption behaviors of heavy metals in SAT (soil aquifer treatment) system // Water Sci. Technol. — 2004. — Vol. 50, № 2. — P. 263–268.
26. Moulton-Hancock C. Giardia and Cryptosporidium occurrence in groundwater // J. Amer. Water Works Assoc. — 2000. — Vol. 92, № 9. — P. 117–123.

Поступила в редакцію 30.12.08

## Ecological Aspects of Waste Waters Penetration to the Ground (Review)

**Stepova N.G.**

*Institute of Hydromechanics of NASU, Kiev*

The ecological problems of waste water penetration to the ground are investigated. The experimental investigations description of many countries authors is resulted. The influence of heavy metals ions and microbiological contaminations in waste water impact on local ecology and public health is specially attended. The arrangements for waste waters penetration to the ground negative consequences decrease are considered.

**Key words:** infiltration, waste waters recycling, heavy metals ions, microbiological contaminations.

Received December 30, 2008