

Янин Е.П. Осадки городских сточных вод как источник биологического загрязнения окружающей среды // Экологическая экспертиза, 2009, № 2, с. 48–77.

Осадки городских сточных вод (ОСВ), образующиеся на очистных сооружениях в ходе очистки сточных вод, являются одним из источников биологического (прежде всего, микробиологического) загрязнения окружающей среды, поскольку в значительных количествах содержат разнообразные болезнетворные микроорганизмы, представляющие опасность для человека и животных. Использование ОСВ в сельском хозяйстве и употребление выращиваемых на удобренных ими землях овощей (в сыром виде) может приводить к заражению населения патогенными микроорганизмами. Нередко ОСВ практически бесконтрольно хранятся на иловых площадках, складываются непосредственно на территории очистных сооружений или (без соответствующей обработки) вывозятся на свалки отходов. Известны случаи негативного воздействия патогенных микроорганизмов, содержащихся в ОСВ, на рабочих очистных сооружений и предприятий по производству компоста, сельскохозяйственных работников, а также на людей, проживающих вблизи очистных сооружений. Все это определяет высокую эпидемиологическую опасность ОСВ, обуславливает обязательность их обезвреживания и предполагает необходимость изучения распределения в них патогенных микроорганизмов.

Особенности биологического загрязнения водной среды

Биологическое загрязнение представляет собой процесс привнесения в окружающую среду и размножение в ней нежелательных для человека и животных организмов [26]. При загрязнении микроорганизмами говорят о микробиологическом загрязнении. Микробиологическое загрязнение водных систем характеризуется бактериологическими и вирусологическими показателями; биологическое загрязнение обусловлено присутствием простейших, гельминтов и свободноживущих организмов [30]. Микробиологическое загрязнение (особенно водных объектов и систем водоснабжения) тесно связано с распространением инфекционных болезней [4, 30]. Под инфекцией понимают сложный процесс взаимодействия макроорганизма с несвойственными ему микроорганизмами, при котором в результате внедрения и размножения болезнетворных микробов макроорганизму причиняется определенный вред. Микроорганизмы, способные вызывать инфекционный процесс, называются патогенными (болезнетворными). Заражение макроорганизма происходит гораздо чаще, чем возникает болезнь.

Существует пять основных путей распространения инфекции: 1) контактный, 2) аэрогенный (через воздух), 3) алиментарный (через пищевые продукты), 4) трансмиссионный (через переносчиков, например через насекомых), 5) водный (через источники водоснабжения). Последний путь особенно опасен, т. к. при этом инфекционный процесс легко приобретает эпидемический характер. Одним из показательных примеров актуальности микробного загрязнения водоемов является эпидемиологическая волна холеры, охватившая в течение 1961-1970 гг. более 40 стран, в том числе европейские [32]. В США с 1946 по 1980 г. было зарегистрировано 672 вспышки заболеваний, связанных с водой; число заболеваний, зарегистрированных во время вспышек, достигало 150475, из которых 52,1% составили заболевания невыясненной этиологии, 21,7% – бактериальные (преимущественно шигеллез и сальмонеллез), 11,8% – вирусные, 7,1% – паразитарные и 7,3% – интоксикации химическими веществами [75]. Источником 237 вспышек служило общественное водоснабжение. Максимальное число (408) вспышек приходилось на теплые (летние) месяцы (май-

сентябрь) и было связано с необщественными источниками водоснабжения. Установлено, что водным путем могут распространяться холера, тиф, паратифы, дизентерия, лептоспирозы, туляремия, вирусный гепатит, лямблиоз, полиомиелит и другие заболевания. Наибольшее значение имеет передача через воду кишечных инфекций (табл. 1).

Таблица 1. Основные инфекции, передающиеся через воду [42]

Агент	Категория	Главная болезнь
Норовирус и саповирус	Вирус	Острые гастроэнтериты
Вирус гепатита Е	Вирус	Гепатиты
<i>Legionella pneumophila</i>	Бактерии	Болезнь «легионеров»
<i>Campylobacter jejunii</i>	Бактерии	Желудочно-кишечные
<i>Escherichia coli</i>	Бактерии	Геморрагические колиты, гемолитический уремический синдром
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Бактерии	Острая диарея
<i>Helicobacter pylori</i>	Бактерии	Желудочные язвы
Вибрион холеры О139	Бактерии	Холера
Циклоспора	Простейшие	Острый энтероколит
<i>Toxoplasma gondii</i>	Простейшие	Токсоплазмоз
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Простейшие	Острый энтероколит (воспаление тонкой и толстой кишки)

Кишечные патогенные бактерии широко распространены во всем мире. Среди известных – штаммы *Salmonella* (возбудитель тифа и паратифов), *Shigella* (возбудитель дизентерии), энтеротоксигенные *Escherichia coli* (кишечная палочка), *Vibrio cholerae* (холерные вибрионы), а также *Yersinia enterocolitica* и *Campylobacter fetus*. Эти организмы могут вызывать заболевания, варьирующие по степени тяжести от легкой формы гастроэнтеритов до тяжелых, а иногда летальных форм дизентерии, холеры и брюшного тифа. Присутствие бактерий группы кишечной палочки в воде служит указанием на возможное загрязнение ее патогенными микроорганизмами, как бактериями, так и вирусами. Большинство возбудителей инфекционных кишечных заболеваний обладают сходной морфологией и физиологией и относятся к семейству энтеробактерий (*Enterobacteriaceae*). Представители отдельных родов отличаются друг от друга по ферментативной активности и подвижности. К роду *Escherichia*, кроме обычной *E. coli*, принадлежат и энтеропатогенные кишечные палочки, вызывающие колиэнтериты у детей и дизентериеподобные заболевания взрослых. Присутствие в воде фекальных (термотолерантных) колиформных организмов является четким доказательством фекального загрязнения, т. е. присутствия в ней различных кишечных патогенных организмов (бактериальных, вирусных и паразитических). Источником происхождения колиформных бактерий могут быть не только экскременты теплокровных животных, но также растительность и почва. Среди представителей рода *Salmonella* имеются монопатогенные бактерии, вызывающие заболевание только человека, а также полипатогенные, заражающие и животных и человека. Дизентерийные бактерии (род *Shigella*) подразделяются на пять видов, среди которых наиболее распространены виды *Sh. Flexneri* и *Sh. Sonnei*.

Из всех кишечных простейших, патогенных для человека, три могут передаваться через воду: *Entamoeba histolytica*, *Giardia* spp., *Balantidium coli*. Эти достаточно широко распространенные организмы являются этиологическими агентами соответственно амебиоза (амебной дизентерии), лямблиоза и балантидиоза. *Entamoeba histolytica* существует в стадии трофозоитов и цист. *Giardia* spp. – жгутиконосцы, существующие в стадии трофозоитов и цист. *Balantidium coli* представляет собой реснитчатый организм, а две его стадии – как трофозоитов, так и цист – могут быть инфицирующими для человека. Различные, обычно свободноживущие, амёбы (например, *Naegleria*, *Hartmanella*, *Acanthamoeba* spp.) могут играть роль водных агентов, нередко вызывающих заболевания со смертельным исходом. Патогенные *Naegleria* наиболее часто выявляются в качестве этиологических агентов первичного амебного менингоэнцефалита. Амёбы рода *Naegleria* существуют в стадии трофозоитов, жгутиконосцев и цист. Обычно инфекции водного происхождения, вызванные амёбами, почти всегда связаны с рекреационным контактом с водой.

Некоторые организмы, не считающиеся патогенными агентами, способны иногда вызывать оппортунистические заболевания (т. е. инфекцию условно патогенными организмами). Среди них – *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*; их присутствие может обусловить возникновение самых различных инфекций, в том числе инфекционных поражений кожи и слизистых оболочек глаза, уха и носоглотки. Известно, что цисты некоторых паразитов более устойчивы к обеззараживанию, чем колиформные организмы, поэтому отсутствие колиформных организмов, например в ОСВ, не обязательно указывает на отсутствие цист *Giardia*, амёб и других паразитов.

В загрязненных водах и отложениях обнаруживаются большие количества яиц и личинок гельминтов, вызывающих гельминтозы – болезни животных, людей и растений. Характерной экологической сущностью гельминтов является эволюционно сложившийся их паразитический образ жизни. Например, у сельскохозяйственных и домашних животных паразитирует около тысячи видов гельминтов, вызывающих болезни [13]. Из них десятки видов – общие для животных и человека. Свыше 150 видов гельминтов – паразиты человека. Большинство гельминтов яйцекладущие, меньшинство – живородящие (откладывают личинки). Активность размножения гельминтов высока. Так, в сутки одна особь может выделять от нескольких десятков и сотен тысяч до миллионов яиц. Городские сточные воды и осадки сточных вод городов значительно насыщены яйцами и (в меньшей степени) личинками гельминтов, которые обнаруживаются на разных стадиях развития. Среди гельминтов встречаются трематоды, моногенеи, ленточные черви, нематоды (аскариды, оксиураты, рабдитаты, стронгиляты), скебнии, цестоды, акантоцефалы, описторхисы, клонорхисы, лентецы (низшие нематоды). Как правило, с водоснабжением более тесно связаны две группы гельминтов: те, передача которых осуществляется исключительно путем заглатывания их промежуточных хозяев – зараженных копепоид (группа I), и те, чьи церкарии непосредственно заражают человека (группа II) (табл. 2).

Таблица 2. Гельминты, потенциально передаваемые через питьевую воду [30]

Основная категория	Название	Группа
Trematoda (сосальщики)	<i>Schistosoma haematobium</i>	II
	<i>Schistosoma intercalum</i>	II
	<i>Schistosoma mansoni</i>	II
	<i>Schistosoma mekongi</i>	II
Cestoda (ленточные черви)	<i>Spirometra mansoni</i>	I
	<i>Spirometra mansonioides</i>	I
	<i>Spirometra proliferum</i>	I
	<i>Spirometra theileri</i>	I
Nematoda (круглые черви)	<i>Ancylostoma brasiliense</i>	II
	<i>Ancylostoma duodenale</i>	II
	<i>Dracunculus medinensis</i>	I
	<i>Necator americanus</i>	II

В последние годы большое внимание уделяется вирусному загрязнению вод, особенно в связи с тем, что кишечные патогенные вирусы оказались более устойчивыми во внешней среде, в частности в водоемах, чем многие патогенные энтеробактерии [32]. Вирусы более устойчивы и к агентам, применяемым для дезинфекции сточных и питьевых вод. Особое внимание уделяется вирусу инфекционного гепатита, возможность иммунизации против которого пока отсутствует. Считают, что патогенное значение могут иметь даже единичные вирусы.

Патогенные организмы в сточных водах

Главным источником патогенных организмов, поступающих на городские очистные сооружения, являются фекально-бытовые сточные воды, в которых в значительных количествах при-

существуют разнообразные бактерии, вирусы, бактериофаги, простейшие, гельминты, грибы [8, 42, 79, 91]. Общее микробное население сточных вод (прототрофов, метатрофов, паратрофов) достигает более 1 млрд. различных бактерий в 1 мл [8, 33]. При объеме одной бактерии, равном 1 мкм³, общий объем, занимаемый ими в 1 мл сточных вод, будет равен примерно 10⁹ мкм³, или 0,001 мл. Например, если какой-либо городской коллектор имеет расход сточных вод в 180 тыс. м³/сут., то суммарный объем бактерий выразится цифрой 180 м³ [8]. Согласно [19], в бытовых сточных водах содержится более 80 тыс. колиформ в 1 мл, в обработанных – порядка 8 тыс. в 1 мл. По данным китайских авторов [69], содержание *Escherichia coli* в бытовых сточных водах составляет (в КОЕ – число колониеобразующих единиц) 10⁷-10⁸/мл (стандарт КНР для очищенных сточных вод – не более 3 КОЕ в 1 мл). В бытовых стоках населенных пунктов Бразилии количество бактерий группы кишечной палочки достигало 2 x 10⁸ [21].

В общем случае микроорганизмы, присутствующие в городских сточных водах, подразделяются на патогенные и условно патогенные [19, 80]. Патогенные микроорганизмы представлены вирусами, бактериями, простейшими и гельминтами (табл. 3).

Таблица 3. Основные патогены бытовых сточных вод [47]

Организмы	Заболевание / симптомы
	Бактерии
<i>Salmonella sp.</i>	Сальмонеллёз, тифозная лихорадка
<i>Shigella sp.</i>	Бациллярная дизентерия
<i>Yersinia sp.</i>	Острый гастроэнтерит, включая диарею, абдоминальную боль
<i>Vibrio cholerae</i>	Холера
<i>Campylobacter jejuni</i>	Гастроэнтерит
<i>Escherichia coli</i> (патогенные штаммы)	Гастроэнтерит
	Кишечные вирусы
Вирус гепатита А	Заболевание гепатитом
Norwal и Norwalk-подобные вирусы	Эпидемический гастроэнтерит с тяжелой диареей
Ротавирусы	Острый гастроэнтерит с тяжелой диареей
Энтеровирусы	
Полиовирусы	Полиомиелит
Вирус Коксаки	Менингит, пневмония, гепатит, лихорадка, простудные симптомы и др.
ЕСНО-вирусы	Менингит, паралич, энцефалит, лихорадка, простудные симптомы, диарея и др.
Реовирус	Респираторные инфекции, гастроэнтерит
Астровирусы	Эпидемический гастроэнтерит
Калицивирусы	Эпидемический гастроэнтерит
	Простейшие
<i>Cryptosporidium</i>	Гастроэнтерит
<i>Entamoeba histolytica</i>	Острый энтерит
<i>Giardia lamblia</i>	Лямблиоз
<i>Balantidium coli</i>	Диарея и дизентерия
<i>Toxoplasma gondii</i>	Токсоплазмоз
	Гельминты
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Дигестивное и трофическое расстройство, брюшная боль, рвота, возбужденное состояние
<i>Ascaris suum</i>	Разные симптомы (кашель, лихорадка, грудная боль)
<i>Trichuris trichiura</i>	Брюшная боль, диарея, анемия, снижение веса
<i>Toxocara canis</i>	Лихорадка, брюшной дискомфорт, мышечная боль, неврологические симптомы
<i>Taenia saginata</i>	Нервозность, бессонница, анорексия, брюшная боль, дигестивное расстройство
<i>Taenia solium</i>	Нервозность, бессонница, анорексия, брюшная боль, дигестивное расстройство
<i>Necator americanus</i>	Анкилостомоз
<i>Hymenolepis nana</i>	Тениоз

Среди патогенных микроорганизмов встречаются возбудители брюшного тифа, паратифа А, паратифа В, дизентерии, болезни Васильева-Вейля, водной лихорадки, туляремии, конъюнктивита, туберкулеза, полиомиелита и ряда других заболеваний. Как правило, чаще других обнаруживаются сальмонеллы, шигеллы, лептоспиры, энтеропатогенные *E. coli*, пастереллы, вибрионы, микобактерии, энтеровирусы человека, амебные цисты и личинки нематод. Обычно в сточных водах содержится гораздо больше фекальных бактерий, чем вирусов [8, 33, 42, 64, 67, 81]. Тем не менее, как уже отмечалось, вирусы являются наиболее опасными и устойчивыми к обработке патогенами в стоках. Известно более 100 типов вирусов, выделяющихся из организма человека через кишечник и попадающих в сточные воды [21]. Согласно [80], необработанные сточные воды содержат от 10^3 до 10^4 вирусов на 1 л стоков. Теоретическое среднее количество энтеровирусов, присутствующих в сточных водах, оценивается в инфицирующих единицах на уровне около 500 на 100 мл [19]. Моча и фекалии, поступающие в сточные коллекторы, служат питательной средой для развития уробактерий. В результате жизнедеятельности уробактерий, осуществляющих гидролиз мочевины, в сточной жидкости образуется основная масса аммонийных солей.

Условно патогенные микроорганизмы представлены прежде всего группой кишечной палочки. Фекалии человека содержат примерно 1×10^{12} бактерий группы кишечной палочки на душу населения в сутки, поэтому все бытовые сточные воды сильно загрязнены этими микроорганизмами [21]. По данным [80], среди присутствующих в сточных водах бактерий доминируют *Leptospira interrogans*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Clostridium perferinges*, среди простейших – *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis* (особенно *Giardia lamblia*) и *Cryptosporidium parvum*.

Многочисленные санитарно-гельминтологические исследования свидетельствуют о значительной насыщенности сточных вод городов и поселков яйцами гельминтов, количество которых в 1 л сточных вод колеблется от единиц до нескольких тысяч [8, 10, 13]. Гельминты поступают в городские сточные воды с фекалиями и смывами с овощей, обмываемых в кухонных раковинах. Обычно в стоках находятся не столько сами гельминты, сколько их яйца, особенно яйца аскарид. Яйца гельминтов имеют размеры от 26-32 x 11-15 мкм до 130-145 x 70-85 мкм. Встречаются также яйца тениид, власоглава, остриц, широкого лентеца, карликового цепня, анкилостомы и др. Например, в системах очистных станций Италии широко распространены нематоды и ленточные черви, круглые черви – *Ascaris lumbricoides*, кровососы – *Ascaris duodenale* или *Nector americanus*, власоглав (*Trichuris trichiura*), *Strongloides stercolaris* – возбудитель стронгилидоза [44]. В единичных случаях в сточных водах встречаются также яйца тениид, остриц и карликового цепня, причем значительная доля их, выделенных из сточных вод, были жизнеспособными, а сроки выживания в почве могут достигать нескольких месяцев [10]. Показательно, что в отдельных географических районах России наблюдается своего рода профилирование загрязнения водных объектов гельминтами [13]. Так, в сточных водах от населения, проживающего вблизи водохранилищ на Волге, реках Сибири, а также озер в северо-западных областях страны, преобладают яйца возбудителя дифиллоботриоза, развивающегося с участием циклопид и рыб. В Западной Сибири и Северном Казахстане в сточных водах доминируют яйца описторхиса, который развивается с участием битиний (моллюсков) и рыб.

Различные грибы, присутствующие в городских сточных водах, встречаются как в виде мицелия (грибницы), так и в виде спор [8]. Источником их существования в городских сточных водах являются растворенные и особенно взвешенные органические вещества.

Поведение колиформных организмов, фекальных организмов и фекальных стрептококков изучено на станциях обработки сточных вод г. Иерусалима (Тибериас и Хадассах), а также в сильно загрязненной реке, в озере и других водоисточниках [48]. Во всех случаях фекальные стрептококки были наиболее устойчивыми как к процессам очистки, так и в условиях природной водной среды, чем другие индикаторные организмы (табл. 4, 5).

Таблица 4. Удаление микроорганизмов на станции очистки Тибериас, декабрь 1968 – июнь 1969 г. (среднее из 12 образцов) [48]

Индикаторные организмы	Необработанные стоки, бактерии/100 мл	После первичного отстаивания (осветления)		После фильтрации	
		Бактерии/100 мл	% удаления	Бактерии/100 мл	% удаления
Общие колиформы	$3,8 \times 10^9$	$6,6 \times 10^8$	83	$8,4 \times 10^6$	92
Фекальные колиформы	$1,6 \times 10^8$	$6,1 \times 10^7$	62	$5,9 \times 10^6$	74
Фекальные стрептококки	$8,4 \times 10^8$	$5,9 \times 10^8$	30	$2,7 \times 10^6$	66

Таблица 5. Удаление микроорганизмов на станции очистки Хадассах, декабрь 1968 – март 1969 г. (среднее из 116 образцов) [48]

Индикаторные организмы	Необработанные стоки, бактерии/100 мл	Отфильтрованные стоки		Хлорированные воды, бактерии/100 мл
		Бактерии/100 мл	% удаления	
Общие колиформы	$9,5 \times 10^8$	$9,5 \times 10^6$	99	14
Фекальные колиформы	$1,3 \times 10^8$	$1,9 \times 10^6$	98,6	6
Фекальные стрептококки	$4,8 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	96	2,8

Как правило, патогенные и условно патогенные бактерии сточных вод в основном быстро погибают благодаря сложным микробиологическим процессам, бактериофагам (присутствующим в стоках), антагонистическому влиянию сапрофитной микрофлоры, света, pH, бактерицидно действующих химических примесей (например, при хлорировании стоков) и др. Механико-биологическая обработка сточных вод обеспечивает уменьшение содержания кишечных бактерий на 90-99% [72]. Все это определяет тот факт, что подавляющая часть микроорганизмов сточных вод задерживается в отстойниках, на фильтрах и в конечном счете накапливается в ОСВ, но, тем не менее, определенное их количество поступает с обработанными сточными водами в водные объекты.

Биологическая заселенность ОСВ

ОСВ содержат богатую микрофлору и фауну: вирусы (вирус гепатита, бациллы столбняка, бациллы брюшного тифа и др.), бактерии (сальмонеллы, бактерии рода *Shigella*, кишечная палочка, клостридиум, лептоспира, микобактерии и др.), дрожжевые и плесневые грибы, простейшие, трематоды (шистомы), нематоды и цестоды, яйца гельминтов, аскариды, власогила, тенниид; возможно присутствие цист патогенных кишечных простейших: дизентерийной амёбы, лямблий, криптоспоридий и др. [6, 17, 20, 28, 37, 38, 45, 49, 55, 59-62, 65, 69, 77, 81] (табл. 6). В ОСВ обнаружены практически все основные формы бактерий: палочковидные (цилиндрические), к которым относятся бациллы, диплобациллы и диплобактерии; шарообразные (эллипсоидные), к которым относятся все шесть видов кокков; извитые, которые подразделяются на спирохеты, спириллы и вибрионы. Наиболее распространенными патогенными микроорганизмами ОСВ являются бактерии родов *Salmonella*, *Shigella*, *Campilobacter*. В табл. 7 приведены данные, полученные при изучении ОСВ разных провинций ЮАР, которые свидетельствуют об относительно высокой встречаемости *Salmonella* spp., что указывает на необходимость регулярного контроля. В ОСВ станции очистки стоков г. Геттингена, ФРГ, был обнаружен новый вид сульфатредуцирующих бактерий *Desulfovibrio gigas* [89].

В общем случае бактериальная заселенность осадков чрезвычайно велика (как правило, на порядок выше, чем сточных вод) (табл. 8-10). Например, в 1 см^3 первичного ила влажностью 94,3% содержится около 42 млн. бактерий, а в 1 г сухого вещества – от 740 тыс. до 1 млн. Если принять в среднем диаметр бактериальной клетки равным 0,001 мм, то суммарный объем 100 млн. бактерий, содержащихся, например, в 1 см^3 осадка, составит около $0,4 \text{ см}^3$ с массой примерно 400

мг. При содержании воды в бактериях 80-85%, сухое вещество составит 60-80 мг/см³ осадка [6]. В активном иле число бактерий на 1 г осадка достигает 2,2-4,1 тыс. штук [25]. В иле из вторичных отстойников (пров. Квебек, Канада) общее количество микроорганизмов составляло $1,2 \times 10^{10}$ КОЕ/мл, в том числе общие колиформы – 1×10^7 , фекальные колиформы – $1,6 \times 10^6$, фекальные стрептококки – $3,2 \times 10^5$ КОЕ/мл [98]. Исследования в Швеции свидетельствуют о том, что зараженность ОСВ патогенными бактериями (*Salmonella*, *Listeria*, *Campylobacter* и *E. coli*) велика [78]. В частности, тестирование как сырых (64 образца), так и обработанные (69 образцов) ОСВ на сальмонеллу показало, что сырые (67% положительно) и обработанные (55% положительно) ОСВ содержали сальмонеллу. В ОСВ также были обнаружены жизнеспособные споры *Enterocytozoon bieneusi*, *Encephalitozoon intestinalis*, *Encephalitozoon hellem*, *Encephalitozoon cuniculi*.

Таблица 6. Патогенные организмы в ОСВ [66]

<p>Бактерии <i>Salmonella</i> spp. <i>Shigella</i> spp. <i>Yersinia</i> spp. <i>Vibrio cholerae</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> (патогенные штаммы) <i>Clostridium perfringens</i> <i>Legionella pneumophila</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i> <i>Mycobacterium</i> spp. <i>Bacillus anthracis</i> <i>Leptospira</i> spp.</p> <p>Вирусы Полиовирус Вирус Коксаки ЕСНО-вирусы Вирус гепатита А Ротавирус Калицивирус человека Реовирус Неизвестные энтеровирусы Коронавирус Норвалк-подобный калицивирус Мелкие круглые вирусы Парвовирусы Вирус гриппа Аденовирусы Вирус гепатита В, С и Е Астровирусы Аденовирус</p>	<p>Простейшие <i>Cryptosporidium</i> spp. <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Balantidium coli</i> <i>Toxoplasma gondii</i> <i>Sarcocystis</i></p> <p>Гельминты <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Ascaris suum</i> <i>Trichuris trichiura</i> <i>Toxocara canis</i> <i>Taenia solium</i> <i>Necator americanus</i> <i>Toxocara cati</i> <i>Ancylostoma duodenale</i> <i>Echinococcus granulosus</i> <i>Diphyllobothrium latum</i> <i>Hymenolepis nana</i></p> <p>Грибы <i>Aspergillus</i> spp. <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Phialophora richardsii</i> <i>Geotrichium candidum</i> <i>Trichophyton</i> spp. <i>Epidermophyton</i> spp.</p> <p>Дрожжи <i>Candida albicans</i> <i>Candida krusei</i> <i>Candida tropicalis</i> <i>Candida guilliermondii</i> <i>Cryptococcus neoformans</i> <i>Trichosporon</i></p>
---	---

Таблица 7. *Salmonella* spp. в ОСВ станций очистки стоков в Южной Африке, % станций [46]

Провинция	Общее кол-во станций	2001 г.	2002 г.	2003 г.
Гаутенг	20	60	40	30
Мпумаланга	2	0	50	0
Свобоеое государство	5	40	40	80
Западная Капская	15	80	13	13
КваЗулу Натал	10	40	40	60
Лимпопо	5	100	60	20
Северо-Восточная	7	43	57	29
Северная Капская	4	75	50	50
Восточная Капская	4	0	0	25

Таблица 8. Типичное содержание патогенных микроорганизмов в необработанных ОСВ [45]

Микроорганизмы		Кол-во / г сухой массы ОСВ
Бактерии	<i>Esherichia coli</i>	10 ⁶
	<i>Salmonella</i>	10 ² -10 ³
Вирусы	Энтеровирусы	10 ² -10 ⁴
Простейшие	<i>Giardia</i>	10 ² -10 ³
Гельминты	<i>Ascaris</i>	10 ² -10 ³
	<i>Toxocara</i>	10-10 ²
	<i>Taenia</i>	5

Таблица 9. Характеристика различных ОСВ, Китай [92]

ОСВ	Сухое вещество, %	рН	Органи-ка, г/кг	Фекальные колиформы, наиболее вероятное кол-во в 1 г	
				Свежие ОСВ	Воздушно-сухие ОСВ
Свежие анаэробно сброженные (г. Ханчжоу, пров. Чжэцзян)	34	6,35	116	1000	2000
Свежие обезвоженные (г. Сучжоу, пров. Цзянсу)	93	5,94	150	1070000	500

Таблица 10. Среднее количество микроорганизмов в различных отходах, КОЕ/г свежего веса, Германия, (Reinsch et al., 1989, Philipp et al., 1990) [39]

Отходы	n	Энтеро-бактерии	Колиформ-ные бактерии	<i>Enterococcus</i> spp.	n	<i>Salmonella</i> spp.
Твердый навоз (КРС)	206	2,2 x 10 ⁵	7,7 x 10 ⁶	4,2 x 10 ⁶	206	0 **
Полутвердый навоз (КРС)	272	3,7 x 10 ⁵	4,8 x 10 ⁵	5,8 x 10 ⁵	272	4,1 **
Твердый (свиной)	80	1,9 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁵	6,9 x 10 ⁵	3	3,8 **
Навоз (КРС+свиной)	475	1,6 x 10 ⁵	1,9 x 10 ⁵	4,1 x 10 ⁵	457	2,9 **
Жидкий навоз (КРС)	188	4,1 x 10 ⁴	2,8 x 10 ⁴	4,2 x 10 ⁵	188	0,53 **
Бытовые стоки	10	-	2,0 x 10 ⁵	2,0 x 10 ²	10	2,8 x 10 ²
Активный ил	10	-	4,0 x 10 ⁵	1,1	10	3,4 x 10 ²
Обезвоженный ил	10	-	4,6 x 10 ⁴	3,4 x 10 ²	10	5,2 x 10 ¹
Обезвоженный и обработанный известью ил	10	-	4,0 x 10 ¹	1,1	10	1,0

* Крупнорогатый скот

** Доля от образцов, %.

В ОСВ в значительных количествах обнаружены грибы [35, 49, 50, 68, 95-97], среди которых наиболее распространены [Cooke, Pipes]: 1) дрожжевые и дрожжеподобные грибы – *Trichosporon* spp., *Geotrichum candidum*, *Candida* spp., *Rhodotorula* spp.; 2) нитчатые грибы (гифомицеты) – *Penicillium* spp., *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor* spp., *Alternaria alternata*, *Rhinochadiella mansonii*, *Fusarium* spp., *Phoma* spp., *Sporothrix* spp., *Trichoderma viride*. Так, в осадках сточных вод, образующихся на очистных сооружениях некоторых городов Верхней Силезии (Польша), наблюдались 185 грибных проявлений, принадлежащих к 10 видам [96] (табл. 11, 12). В осадках доминировали *Trichophyton terrestre* с телеоморфами *Arthroderma quadrifidum*, *Trichophyton ajelloi* с телеоморфами *Arthroderma uncinatum*, *Microsporium gypseum* с телеоморфами *Arthroderma* sp., *Chrysosporium keratinophilum* с телеоморфами *Aphanoascus keratinophilus*. Способы обработки сточных вод, поступающих на очистные сооружения, вместе со структурой осадка, его влажностью и рН являются факторами, определяющими распределение грибов в ОСВ. Качественный и количественный состав грибов меняется в ходе обработки осадка. В ОСВ установлены аспергиллы (род несовершенных грибов класса гифомицетов), в том числе *Aspergillus fumigatus*, которые вызывают аспергиллёзы у животных и человека.

Установлено, что ОСВ содержат большое количество гельминтов – от нескольких десятков до нескольких тысяч в 1 л осадков [27]. По данным [33], число яиц гельминтов в осадках из первичных отстойников, в активном иле и в сброженной в мезофильных условиях смеси достигает нескольких сотен, а в механически обезвоженных осадках – нескольких тысяч на 1 кг ОСВ. Коли-

чество яиц *Ascaris* в ОСВ очистных сооружений ЮАР в 2001-2003 гг. достигало 200- 450 на 10 г [46]. Количество яиц *Taenia saginata* в аэробно сброженных ОСВ г. Шато-Рено (Франция) изменялось от 2,5 до 4,4 на 1 грамм сухого вещества [78]. Применение ОСВ в качестве удобрения на пастбищах может служить причиной возникновения цистицеркоза (финноза) у домашнего скота и тениоза у человека. Обычно в ОСВ основную массу составляют яйца аскарид, но встречаются яйца и других гельминтов (власоглав, широкий лентец, солитер и др.) (табл. 13).

Таблица 11. Характеристика ОСВ городов Верхней Силезии [96]

№ п/п	Город	Характеристика
1	Катовице	Избыточный ил после длительной аэрации без отстаивания, выдержанный 5 лет в отстойнике
2	Катовице	Избыточный ил после длительной аэрации без первичного отстаивания, после биологического удаления фосфора, азота и углерода, выдержанный 8 мес. в отстойнике
3	Руда Слазка	Смешанный ил (первичный+избыточный), стабилизированный в отстойнике Имгоффа и подсушенный на иловых площадках в течение 8-9 мес.
4	Рада Слазка	Вторичный ил после биофильтра, смешанный с первичным илом, стабилизированный в отстойнике Имгоффа, подсушенный на площадках в течение 8-9 мес.
5	Забже	Смешанный ил (первичный+вторичный) после биофильтров, стабилизированный в отстойнике Имгоффа, подсушенный на иловых площадках в течение 12 мес.
6	Даброва Горница	Смешанный ил (первичный+избыточный), стабилизированный в анаэробно-сбраживающей камере, подсушенный на иловых площадках в течение 12 мес.
7	Стрже- мисжице	Смешанный (первичный+избыточный) ил, стабилизированный в анаэробно-сбраживающей камере, подсушенный на иловых картах в течение 6 мес.
8	Олькуш	Смешанный ил (первичный+избыточный), стабилизированный в анаэробно-сбраживающей камере, обезвоженный в центрифуге и обработанный коагулянтами
9	Семяно- вице	Избыточный ил после длительной аэрации без первичного отстаивания, удаления фосфора, азота и углерода, стабилизированный в сбраживающей камере, обезвоженный на фильтр-прессе
10	Катовице	Избыточный ил после интенсивной аэрации без первичного отстаивания, подсушенный на иловой площадке в течение 8-9 месяцев.

Таблица 12. Распределение грибов в ОСВ городов Верхней Силезии (на сухую массу) [96]

№ *	Общие колиформы, MPN/100 г	Фекальные колиформы, MPN /100 г	Общее кол-во грибов, КОЕ/г	Грибы <i>Actidione-resistant</i> , КОЕ /г	Мезофильные грибы, КОЕ/г	Термофильные грибы, КОЕ /г	<i>Ascaris lumbricoides</i> , кол-во яиц в 1 кг	<i>Trichocephalus trichiura</i> , кол-во яиц в 1 кг
1	3300000	300000	882353	759841	77855	270	0	0
2	166600	50000	138750	37181	70536	18431	10	0
3	>10000000	1000000	1098360	628409	527820	27869	0	40
4	>10000000	500000	218182	116356	95455	116356	0	20
5	>10000000	>10000000	117363	9157	3502	22937	0	0
6	500	50	354962	230534	89058	201015	0	0
7	500	500	147501	93813	32538	9325	0	0
8	>10100000	>11100000	24877	2630	7657	370	0	0
9	>12500000	1250000	3466	932	932	315	0	0
10	500	<5	227766	4171	129065	303	10	0

* См. табл. 11.

Согласно [43], яйца *Taenia* являются одними из самых устойчивых патогенов, обнаруженных в ОСВ. Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных. Большинство случаев цистицеркоза, установленных в Северной Америке, Великобритании, Германии и Дании, вызваны не соблюдением правил гигиены или размещением ОСВ на пастбищах [43]. По оценке [44], примерно 25% мирового населения заражено круглым червем *Ascaris Lumbricoides*.

Содержащиеся в ОСВ патогенные организмы могут относительно длительное время находиться в окружающей среде (табл. 14-16). Например, энтеровирусы, адсорбированные твердыми частицами почвы, сохраняли свою патогенность для свиней и через 8 сут. после внесения осадка [22]. Устойчивость вирусов в окружающей среде зависит от температуры, влажности воздуха и интенсивности солнечной радиации. Так, зимой вирусы обнаруживали в почве спустя 180 сут. после внесения ОСВ, летом они сохранялись в течение 25 сут. Исследования, проведенные в Швейцарии, показали, что при обработке ОСВ содержание в них сальмонелл снижалось незначительно [22]. По [72], сальмонеллы могут сохранять жизнеспособность в ОСВ в течение 2 лет. Наиболее

высокой устойчивостью отличаются яйца гельминтов и цисты простейших [21]. Так, на иловых площадках подвижные личинки гельминтов сохраняют жизнеспособность до 5 лет и более [33]. Даже однократное внесение необеззараженных ОСВ в почву делает этот участок на долгие годы эпидемиологически опасным, так как яйца гельминтов могут сохранять жизнеспособность в течение 5-15 лет. При попадании в водоемы, а также при подсушке на иловых площадках и хранении необезвреженных ОСВ часть яиц гельминтов погибает, а часть может сохраняться длительное время либо развиваться до личинки. Для уничтожения яиц гельминтов необходимо сбрасывать ОСВ в течение месяца (при 30°C), хотя яйца аскарид выживают и при такой температуре [22].

Таблица 13. Встречаемость паразитов в ОСВ (обобщение литературных данных) [43]

Страна, регион	Гельминты, ранжированные в порядке частоты встречаемости
	Аргентина
Патагония (4 места)	Hymenolepis > Ascaris > Trichuris > Toxocara
	Бразилия
Парана (22 пробы)	Ascaris > Hymenolepis > Trichuris > Toxocara > Taenia
	Франция
Кан (21 проба)	Trichuris > Taenia > Ascaris > Toxocara
Кан (6 проб)	Taenia > Trichuris > Toxocara > Ascaris
Фалез	Taenia > Toxocara
Нанси (несколько мест)	Ascaris > Trichuris > Hymenolepis = Toxocara > Taenia
Реймс (19 проб)	Ascaris > Toxocara = Taenia > Tricurus
Шампань (14 проб)	Trichuris > Ascaris > Toxocara
Савойя (38 проб, несколько мест)	Taenia = Ascaris
Тур (4 места)	Taenia = Trichuris >> Ascaris > Hymenolepis
Валентон (1 место)	Tricurus > Taenia > Ascaris = Toxocara
	Марокко
Агадир	Trichuris >> Ascaris > Hymenolepis > Taenia
Бени Меллал	Hymenolepis >> Ascaris > Trichuris > Toxocara
Марракеш	Ascaris > Trichuris > Toxocara, Hymenolepis, Taenia, Moniezia
Аурзагат	Hymenolepis > Ascaris > Moniezia > Tricurus
	Чехия
Богемия (3 места)	Ascaris >> Toxocara > Trichuris > Hymenolepis > Toxascaris
	США
Штат Иллинойс	Ascaris > Toxocara > Toxascaris > Trichuris > Hymenolepis
	Великобритания
Восточная Англия (7 мест)	Ascaris > Trichuris > Taenia
	Другие страны
Норвегия (1 место)	Ascaris > Trichuris
Швейцария (11 мест)	Trichuris > Ascaris
Украина (1 место)	Ascaris > Trichuris
Бахрейн	Ascaris > Hymenolepis
Словакия (72 пробы)	Ascaris >> Toxocara > Trichuris > Taenia

Таблица 14. Влияние на здоровье и время выживания различных бактерий, вирусов в почвах, растениях и воде (обобщение литературных данных) [36]

	Поверхности	Время выживания, дни
<i>Coliforms</i>	Поверхность почвы	38
	Овощи	35
	Трава/клевер	6-34
<i>Faecal streptococci</i>	Почва	26-77
<i>Shigella spp.</i>	Трава	42
<i>Salmonella spp.</i>	Овощи	2-10
	Поверхность почвы	15-46
	Почва	15-280
<i>Clostridium spp.</i>	Почва	Годы (как споры)
<i>Poliovirus</i>	Почва	3-75
	Почва + стоки	10-78
<i>Echovirus</i>	Почва + стоки	60 и более
<i>Bacteriophages</i>	Почва	14 – более 35

Таблица 15. Время жизни патогенов в почве и на поверхности растений [47]

Патоген	Почва		Растения	
	Абсолютный максимум	Типичный максимум	Абсолютный максимум	Типичный максимум
Бактерии	1 год	2 месяца	6 месяцев	1 месяц
Вирусы	1 год	3 месяца	2 месяца	1 месяц
Циста простейших	10 дней	2 дня	5 дней	2 дня
Яйца гельминтов	7 лет	2 года	5 месяцев	1 месяц

Таблица 16. Выживаемость патогенов в различных условиях [99]

Тип патогенов	Время выживаемости, дни			
	В фекалиях и сточном иле	В стоках и пресных водах	В почвах	На растениях
Энтеровирусы	< 100 (< 20)	< 120 (< 50)	< 100 (< 30)	< 60 (< 15)
Бактерии				
Фекальные колиформы	< 90 (< 50)	< 60 (< 30)	< 70 (< 20)	< 30 (< 15)
<i>Salmonella</i> spp.	< 60 (< 30)	< 60 (< 30)	< 70 (< 20)	< 30 (< 15)
<i>Shigella</i> spp.	< 30 (< 10)	< 30 (< 10)	-	< 10 (< 5)
Вибрион холеры	< 30 (< 5)	< 30 (< 10)	< 20 (< 10)	< 5 (< 2)
Простейшие				
Цисты дизентерийной амебы	< 30 (< 15)	< 30 (< 15)	< 20 (< 10)	< 10 (< 2)
Гельминты (яйца аскарид)	несколько месяцев	несколько месяцев	несколько месяцев	< 60 (< 30)

* В скобках – типичное время выживаемости.

В табл. 17 приведены данные, характеризующие случаи возникновения инфекций в Шотландии и Северной Ирландии в 1995-2005 гг. Источник инфекции в сообщаемых случаях был разным, но экспозиция к ОСВ являлась одним из возможных способов. Действительно, достаточно давно установлено, что использование ОСВ в сельском хозяйстве и употребление выращиваемых на удобренных ими землях овощей (в сыром виде) может приводить к заражению населения патогенными микроорганизмами [39, 63, 82, 86].

Таблица 17. Случаи инфекции для шести ключевых патогенных бактерий в Шотландии и Северной Ирландии в 1995-2005 гг. случаи /100 тыс. населения [68]

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Бактерия <i>Escherichia coli</i> O157											
Шотландия	4,8	9,9	8,3	4,3	5,8	3,9	4,6	4,5	2,9	4,1	3,4
Сев. Ирландия	0,4	0,8	1,8	1,7	3,2	3,2	2,7	1,6	3,1	1,1	2,3
Бактерия <i>Salmonella</i>											
Шотландия	60,5	63,6	65,2	41,2	36,7	33,6	30,8	23,0	24,6	22,6	22,2
Сев. Ирландия	27,6	25,0	26,0	32,0	41,0	25,3	21,8	14,2	12,6	26,5	10,5
Кампилобактерии											
Шотландия	85,2	99,4	107,8	124,5	114,5	126,6	106,3	101,2	87,9	86,3	90,2
Сев. Ирландия	34,0	39,6	46,9	46,4	51,3	59,6	52,7	48,3	43,7	49,9	52,0
Бактерия <i>Cryptosporidium</i>											
Шотландия	14,3	12,1	13,5	17,2	11,7	17,0	11,1	12,6	16,3	9,1	14,0
Сев. Ирландия	4,9	5,9	4,9	10,8	10,8	24,8	21,4	7,5	8,20	8,1	9,6
Бактерия <i>Cryptosporidium parvum</i>											
Шотландия	0,3	1,1	1,1	0,6	0,4	0,6	0,9	0,8	0,7	0,8	0,4
Сев. Ирландия	0,1	0,7	0,3	0,7	0,4	0,6	0,7	1,2	1,2	0,6	1,2
Бактерия <i>Listeria monocytogenes</i>											
Шотландия	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,6
Сев. Ирландия	0,3	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2

В работе [84] установлено бактериальное загрязнение воздуха в накопителе активного ила на станции обработки сточных вод в г. Сан-Хосе (Калифорния, США). Содержание колиформных и других бактерий (общие бактерии минус колиформы) были также измерены с подветренной стороны накопителя активного ила станции обработки сточных вод, расположенной в г. Сан-Хосе (Калифорния, США). Установлено, что концентрации колиформ с подветренной стороны накопи-

теля не представляли существенной опасности для здоровья людей. Следует отметить, что литературные данные свидетельствуют о довольно многочисленных случаях негативного воздействия патогенных микроорганизмов на рабочих станций очистки стоков, в том числе через воздушный путь (из-за присутствия бактерий и вирусов в пыли, образующейся из ОСВ) [66]. Описаны также случаи негативного воздействия патогенных микроорганизмов, содержащихся в ОСВ, на сельскохозяйственных работников, рабочих предприятий по производству компоста из осадков сточных вод, на людей, проживающих вблизи очистных сооружений [41]. Активными разносчиками патогенных организмов, содержащихся в ОСВ, могут быть птицы, обитающие на техногенных водоемах, свойственных территориям очистных сооружений. Указанные водные объекты могут быть искусственными или сильно измененными природными водоемами, включенными в технологический процесс очистных сооружений и характеризующимися своеобразными сообществами водно-болотных птиц [24].

Обеззараживание ОСВ

Обеззараживание ОСВ является важной частью противоэпидемических мероприятий. Минимальные дозы инфекционности для патогенных бактерий, содержащихся в ОСВ, составляют $10 \cdot 10^{11}$ организмов, для вирусов от 9×10^{-1} до 9×10^4 вирусных частиц, для простейших – от 1 до 100 цист, а для гельминтов даже 1 яйцо может быть причиной инфекции [83]. В Швейцарии норматив для ОСВ при их использовании в сельском хозяйстве составляет не более 100 энтеробактерий в 1 г осадка (Sonnleitner, Vomio, 1990). В США плотность фекальных колиформ в муниципальных ОСВ, планируемых использоваться в сельском хозяйстве, должна быть менее 1000 MPN (наиболее вероятное количество) в 1 г сухого осадка, а плотность сальмонеллы – меньше 3 MPN/1 г осадка [71].

Существует несколько основных подходов к обеззараживанию ОСВ, в той или иной мере (табл. 18). Наиболее широкое применение получили различные варианты тепловой обработки ОСВ (термофильное сбраживание в метантенках, аэробная стабилизация с предварительным нагревом сырого осадка, пастеризация при повышенной температуре и др.).

Таблица 18. Основные подходы к уменьшению количества патогенов в ОСВ [47]

Подход	Эффективность	Примеры процессов
Применение высоких температур (температуры могут быть генерированы химическими, биологическими или физическими процессами)	Зависит от времени и температуры. Достаточные температуры в течение длительного времени могут снижать бактерии, вирусы, цисты простейших, яйца гельминтов до ниже определяемого уровня. Яйца гельминтов наиболее устойчивы к высоким температурам.	Компостирование (использую биологические процессы, генерирующие тепло). Тепловое высушивание и тепловая обработка (использование физических процессов для генерирования тепла). Пастеризация. Аэробное сбраживание (биологическое тепло). Анаэробное сбраживание (физическое тепло)
Применение радиации	Зависит от дозы. Достаточные дозы могут снижать бактерии, вирусы, цисты простейших и яйца гельминтов до ниже определяемого уровня. Вирусы наиболее устойчивы к радиации.	Гамма-излучение, обработка электронами высокой энергии
Применение химических дезинфектантов	Существенное уменьшение бактерий и вирусов и носителей. Возможно снижение цист простейших. Для гельминтов эффективно только в комбинации с теплом.	Стабилизация известью
Уменьшение в ОСВ летучих органических веществ (источник пищи для микробов)	Уменьшение бактерий. Уменьшение носителей.	Аэробное сбраживание, анаэробное сбраживание, компостирование
Удаление влаги из ОСВ	Уменьшение вирусов и бактерий. Уменьшение носителей. Возможно разрушение цист простейших. Для гельминтов эффективно в комбинации с другими процессами, например, с высокими температурами.	Воздушное или тепловое высушивание

В России, согласно СанПиН 2.1.7.573-96 [31], обезвреживание и обеззараживание ОСВ может быть осуществлено одним из следующих способов: 1) термофильным сбраживанием в метантенках или термосушкой; 2) облучением инфракрасными лучами (камера дегельминтизации); 3) пастеризацией при температуре 70°C и времени теплового воздействия не менее 20 мин.; 4) аэробной стабилизацией с предварительным нагревом смеси сырого осадка с активным илом при температуре 60-65°C в течение 2-х час.; 5) компостированием (с опилками, сухими листьями, соломой и торфом, другими водопоглощающими средствами) в течение 4-5 месяцев, из которых 1-2 должны приходиться на теплое время года, при условии достижения во всех частях компоста температуры не менее +60°C; 6) выдерживанием на иловых площадках в условиях: I и II-го климатических районов в течение не менее 3-х лет; III-го климатического районов – не менее 2-х лет; IV-го климатического района – не менее 1 года. Сроки выдерживания ОСВ на иловых площадках уточняются экспериментальным путем научно-исследовательскими учреждениями или учреждениями государственной санитарно-эпидемиологической службы на основании результатов лабораторных исследований, свидетельствующих об отсутствии в осадках жизнеспособных яиц гельминтов (аскарид, власоглавов, анкилостомид, онкосфер тениид, фасциол). Эффективное обезвреживание осадка достигается обработкой негашеной известью (30% к объему обрабатываемого осадка), аммиачной водой (в количестве 5-8% к массе осадка и выдержке не менее 5-10 суток) и тиазоном. Последний в дозе 0,2-2,0% к общей массе осадка и экспозиции 3-10 сут. губительно действует не только на яйца гельминтов, но и на патогенную микрофлору, яйца и личинки мух, цисты кишечных патогенных простейших, плесень, фитонематоды и семена сорняков. После обработки тиазоном осадки должны выдерживаться до 30 сут. в буртах, покрытых пленкой на площадках с твердым покрытием. На практике наиболее широкое применение получили термические методы обеззараживания ОСВ, а также многолетняя выдержка осадков на иловых площадках и площадках для их хранения [23]. Длительное выдерживание ОСВ на иловых площадках способствует существенному снижению содержания многих, но далеко не всех патогенных микроорганизмов (табл. 19).

Таблица 19. Изменение количества (в КОЕ/г) патогенных бактерий в ОСВ некоторых городов Латвии [100]

Бактерии	Станции очистки	Продолжительность хранения		
		Сырые	6 мес.	12 мес.
<i>Echerichia coli</i>	Рига	2,5 x 10 ⁵ (100) *	3,2 x 10 ³ (1,3)	2,7 x 10 ² (0,1)
	Резекне	1,2 x 10 ⁶ (100)	4,7 x 10 ⁴ (3,9)	4,4 x 10 ³ (0,4)
	Цесис	2,0 x 10 ⁵ (100)	4,1 x 10 ³ (2)	5,8 x 10 ³ (3)
	Среднее, %	100	2	3
<i>Enterococci</i>	Рига	2,8 x 10 ⁶ (100)	8 x 10 ² (< 0,1)	2,7 x 10 ³ (0,1)
	Резекне	6,7 x 10 ⁶ (100)	8,4 x 10 ⁴ (1,2)	2,4 x 10 ⁴
	Цесис	1,9 x 10 ⁶ (100)	6,8 x 10 ⁵ (35)	6,3 x 10 ³ (0,3)
	Среднее, %	100	12	0,3
<i>Clostridium perfringens</i>	Рига	2,7 x 10 ⁶ (100)	1,3 x 10 ⁶ (46)	1,7 x 10 ⁶ (61)
	Резекне	2,0 x 10 ⁶ (100)	2,1 x 10 ⁶ (104)	1,9 x 10 ⁶ (95)
	Цесис	1,4 x 10 ⁵ (100)	7,3 x 10 ⁵ (536)	2,7 x 10 ⁵ (198)
	Среднее, %	100	229	118
<i>Salmonella spp.</i>	Рига	+	-	-
	Резекне	-	+	-
	Цесис	+	+	-

* В скобках – относительные проценты.

Сбраживание ОСВ эффективно снижает количество присутствующих в них патогенных микроорганизмов, однако не обеспечивает полной стерилизации [21]. Сушка сброженного осадка на воздухе ведет к дальнейшему уменьшению числа патогенных организмов, но также не обеспечивает полной безопасности. Лишь термическая сушка как сброженного, так и свежего осадка практически гарантирует его полное обеззараживание. Однако стоимость этого метода столь велика, что его применение редко оправдано, за исключением тех случаев, когда удобрений мало и существует рынок для их продажи; тогда предпочтительно подвергать термической обработке свежий активный ил. Если сброженный ил требует обеззараживания, то может быть использован хлор. Однако для того чтобы дезинфекция была эффективной, нужны высокие дозы хлора, а сам осадок должен быть хорошо сброжен и однороден, чтобы хлор имел доступ ко всем микроорганизмам. Дозы хлора широко варьируют и могут достигать 1-10% массы влажного осадка, что часто делает процесс хлорирования очень дорогим. По данным зарубежных авторов, приводимых И.С. Туровским [33], патогенная микрофлора осадков при их сбраживании сокращается незначительно, а некоторые патогенные микроорганизмы сохраняются даже при термофильном сбраживании. Осадок, сбраживающийся четыре недели, был заражен сальмонеллами в 2 раза больше, чем сырой осадок. В сброженном осадке 90% проб показали присутствие сальмонелл, в то время как в сыром осадке они были обнаружены лишь в 45% проб. Отсюда можно сделать вывод, что в процессе сбраживания может происходить размножение и накопление сальмонелл. Именно поэтому в зарубежных странах мезофильное анаэробное сбраживание ОСВ обычно применяется в комбинации с другими методами (пастеризация, процесс Cambi и др.) [34]. Используется также термосушка ОСВ при 80⁰С, их трехсуточная тепловая обработка при 55⁰С, компостирование при 55⁰С в течение 15 сут., а также щелочная обработка в течение 72 час. при pH=12 и температуре 50⁰С [94].

Тепловая обработка представляет собой процесс нагревания осадков до температуры 170-220⁰С при давлении 1,2-2 МПа, соответствующем давлению насыщенных водяных паров при данной температуре, с выдержкой осадков при указанных параметрах в течение 30-120 мин. в зависимости от их свойств [33]. Тепловой обработке могут подвергаться как сырые, так и сброженные осадки. Применяют также низкотемпературное нагревание (ниже 100⁰С), биотермическую обработку (компостирование), термическую сушку предварительно обезвоженных на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах ОСВ. Перспективно обеззараживание (как жидких, так и обезвоженных) осадков химическим (обработка негашеной известью, аммиачной водой, жидким аммиаком, тиазоном) и термохимическим (осадки после механического обезвоживания подвергаются скоростному перемешиванию в лопастных смесителях; температура их повышается до 60-70⁰С) способами [23].

Наиболее эффективное обеззараживание механически обезвоженных ОСВ достигается их термической сушкой. Различают прямую (топочными газами, горячим воздухом, перегретым паром) и непрямую (через поверхность теплообмена) сушку. Прямая сушка преобладает и осуществляется в агрегатах различного типа (барабанных, кипящего, виброкипящего и фонтанирующего слоя, комбинированные). Для уничтожения патогенов осадки обрабатываются известью или смесью карбида кальция и извести, а также обрабатываются ионизирующим излучением [18]. В Германии разработан способ обеззараживания ОСВ посредством их сушки в теплицах с использованием солнечной энергии. Предварительно обезвоженный осадок равномерно распределяется по поверхности теплицы (шириной 8-10 м) и перемещается вдоль нее с помощью автоматического агрегата непрерывного ворошения и продольного перемещения осадка по фронту, равной рабочей ширине теплицы. Конечная влажность материала составляет около 10% [18].

В рамках технологического цикла крупных очистных сооружений рекомендуется использовать термофильное анаэробное сбраживание, пастеризацию, сушильные установки [14]. Для сокращения затрат используют пар от котлов, работающих на образующемся при переработке ОСВ биогазе (теплота сгорания – 5350 ккал/м³). В связи с высокими затратами на строительство ста-

ционарных установок термической обработки ОСВ разрабатываются передвижные, особенно эффективные на небольших очистных сооружениях. Фирма «Gruba GmbH» (Германия) предлагает такую технологию сушки на мобильных сушильных устройствах, разработанных фирмой «Walther GmbH» (Германия), монтаж которых не превышает 2 дней. В процессе сушки происходит снижение влажности до 10%, массы ОСВ на 70%. Обеззараживание в результате повышения температуры обеспечивается также при компостировании.

Имеются данные, что в результате повышения температуры при совместном компостировании ОСВ и бытовых отходов в течение 28 суток обеспечивается снижение содержания патогенных микроорганизмов на 74% [14]. Кроме того, компостирование позволяет вводить обеззараживающие добавки, действие которых, основано на повышении щелочности. В качестве обеззараживающих добавок используют сажу и (или) шлак от сжигания угля, отходы цементного производства – пыль от обжиговой печи, которая обладает дезинфицирующими свойствами (дезодорация и обезвреживание микроорганизмов). Известь и соединения аммиака являются наиболее широко распространенными обеззараживающими добавками (табл. 20). В последние годы за рубежом и в России получило распространение компостирование с использованием красных калифорнийских земляных червей (вермикомпостирование), что способствует значительному уменьшению содержания патогенных организмов в ОСВ [14, 51]. Разрабатываются также нетрадиционные способы обеззараживания ОСВ, использующие УФ-излучение, озонирование, импульсное лазерное излучение, радиационную обработку и пр. [14, 76].

Таблица 20. Микроорганизмы в сырых и обработанных известью ОСВ, г. Исфahan (Иран) [40]

Показатель	pH	Сырые ОСВ**	2 час	24 час	72 час	120 час
Общие колиформы, MPN*/г	12	$1,3 \times 10^8$	$4,2 \times 10^5$	$4,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	$6,3 \times 10^1$
Фекальные колиформы, MPN/г	12	$1,3 \times 10^7$	$1,1 \times 10^5$	$3,0 \times 10^2$	$3,5 \times 10^1$	$3,1 \times 10,^1$
Общие колиформы, MPN/г	11	$1,7 \times 10^8$	$8,2 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$
Фекальные колиформы, MPN/г	11	$1,8 \times 10^7$	$1,3 \times 10^5$	$9,5 \times 10^2$	$1,8 \times 10^3$	$3,6 \times 10^3$
Сальмонелла, MPN/4 г	12	54	< 2	0	0	0
Сальмонелла, MPN/4 г	11	54	< 2	0	0	0
Жизнеспособные яйца гельминтов, шт/г	12	135	65	53	32	22
Жизнеспособные яйца гельминтов, шт/г	11	225	135	112	55	98

* Наиболее вероятное количество.

** pH сырых ОСВ 6,6.

Опыты Л.А. Сергуниной показали, что в процессе коагуляции осадков, последующего их обезвоживания и прогревания до 60°C происходит резкое снижение числа микроорганизмов [33]. Считается, что стабилизация ОСВ существенно снижает их биологическую загрязненность [72]. По данным [61], обезвоживание и биологическая стабилизация ОСВ способствуют существенному уменьшению содержания в кеке осадков кишечных патогенов на 65,6-90,2% по сравнению с их содержанием в активном иле. Для уменьшения объема ОСВ используется так называемая технология эффективных микроорганизмов [87]. Основные используемые виды – молочнокислые бактерии, фотосинтезирующие бактерии, дрожжи, актиномицеты, ферментные грибы. Установлена способность бактерий молочной кислоты ингибировать патогенные (болезнетворные) микроорганизмы в ОСВ [74].

Основным критерием оценки эффективности обеззараживания осадка является гибель яиц гельминтов [23]. Наиболее устойчивы яйца аскарид, обычно используемые в качестве основного объекта при изыскании обеззараживающих средств. З.Г. Василькова установила, что яйца гельминтов погибают в процессе нагревания осадка (при температуре 50°C в течение 2 ч, при 70°C – в течение нескольких минут, при 70°C – в течение нескольких секунд) [33]. По другим сведениям, практически полное обезвреживание осадка происходит при его нагревании до 70°C; считается, что весь сброженный осадок должен подвергаться прогреванию, независимо от того, как он будет дальше обрабатываться и применяться. По данным [6], при термофильном сбразивании яйца гли-

стов полностью погибают. То же наблюдается при термогравитационном или термофлотационном уплотнении осадков. Тем не менее вопрос обеззараживания ОСВ от яиц гельминтов до настоящего времени полностью не решен. Процесс этот является трудоемким, дорогостоящим и не всегда эффективным [27, 29]. Так, для полной дегельментизации ОСВ на иловых площадках требуется от 6-7 месяцев до 3-5 лет, что обусловлено влиянием почвенно-климатических условий, сезоном заполнения видом яиц гельминтов. Механическое обезвоживание ОСВ на центрифугах, вакуум-фильтрах и т. д., как правило, не обеспечивает полного обеззараживания ОСВ от яиц гельминтов, поскольку в большинстве случаев происходит лишь перераспределение их между кеком и фугатом, что требует дополнительной раздельной обработки указанных продуктов. Многократное замораживание и оттаивание ОСВ способствует лишь интенсификации процессов обеззараживания, но не обезвреживает полностью их от яиц гельминтов. Сбраживание ОСВ в метантенках при мезофильных условиях (30-33°C) также не обеспечивает гибель яиц гельминтов; при термофильных условиях (55-60°C) она достигается в течение 2 час. Полная дегельментизация осадка достигается при их сжигании или термической сушке, однако эти методы слишком дороги, сложны и могут применяться только на крупных очистных сооружениях. Эффективным методом дегельментизации механически обезвоженных ОСВ является их инфракрасное облучение, но он с успехом может применяться лишь на малых очистных сооружениях. Дегельментизация ОСВ радиационным излучением, безводным аммиаком, аммиачной водой не получила широкого применения.

Исследования, выполненные на станции очистки г. Бени Меллаль (Марокко), свидетельствуют о том, что яйца гельминтов и цисты простейших практически полностью погибали при использовании антибактериальных препаратов в ходе очистки сточных вод и выдерживании ОСВ на иловых площадках в течение двух недель [52]. На очистные сооружения, площадь которых составляет 7 га, поступают преимущественно бытовые стоки (до 11 тыс. м³/сут.). Время обращения сточных вод в системе составляет ~ 56 час. Система очистки начальную обработку стоков (удаление крупных предметов, песка и нефти), бассейны предварительной обработки и биообработки (использование активного ила). Предварительная обработка осуществляется в двух аэротенках. После аэрации сточные воды поступают в два бассейна отстаивания. Обработка ОСВ производится в уплотнительном танке, который обеспечивает их концентрирование. Затем осадок поступает на иловые площадки (58 штук). Фильтрат с площадок идет в голову станции. Очищенные сточные воды сбрасываются в местный водоток. Установлено, что система активного ила уменьшает фекальные колиформы и фекальные стрептококки в среднем на 90,75 и 91,06% соответственно. Общая устойчивость 111 штаммов фекальных колиформ, выделенных из системы, была 72,07%. Устойчивость к антибиотикам фекальных колиформ как в необработанных, так и в обработанных стоках была близкой – 71,05% и 77,77% соответственно. Обработка ОСВ на иловой площадке была эффективной в отношении фекальных колиформ, цист, яиц гельминтов (табл. 21). На иловых площадках в течение 60 дней количество фекальных колиформ уменьшалось с $3,9 \times 10^5$ КОЕ/мл до 30 КОЕ/мл (99,99%). Антибиотическая устойчивость штаммов фекальных колиформ (в ОСВ с иловых площадок) изменялась не существенно.

Таблица 21. Выживание цист простейших и яиц гельминтов в ОСВ на иловых площадках [52]

Время (дни)	Простейшие (циста/г сухой массы)			Гельминты (яйца/г сухой массы)	
	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Giardi</i>	<i>Enamoeba coli</i>	<i>Ascaris</i>	<i>Trichuris</i>
0	76	150	310	6,8	16,7
4	32,6	64,3	205,3	4,3	7,6
8	-	-	-	2,4	-
14	-	-	-	-	-

Австралийские специалисты установили, что водные бактерии могут уничтожать опасные вирусы [36]. В частности, был проведен эксперимент с пробами воды из водоносной системы Бо-

ливар (вблизи г. Аделаиды) с поливирусом при добавлении сточных вод. Установлено, что через 40 дней нестерилизованная вода с добавлением сточных вод уже не содержит поливируса. Разрушение вирусов происходит быстрее при добавлении питательных веществ, способствующих развитию бактерий. Отсюда делается вывод, что поступающие в поверхностные и подземные водоносные горизонты сточные воды могут очищаться живущими там бактериями. Тем не менее отмечается, что эти исследования находятся еще на начальной стадии и должны продолжаться в более широком масштабе для получения надежных результатов.

Поступление патогенных организмов в водные объекты

В промышленно-урбанизированных районах сточные воды, сбрасываемые с городских очистных сооружений, являются важным источником поступления патогенных организмов в водные объекты [3, 7, 8, 19, 42, 48, 50, 53, 54, 56, 57, 60, 87, 88, 94, 99] (табл. 22). Следует отметить, что во многих странах мира значительные объемы бытовых и промышленных стоков сбрасываются без какой-либо очистки или только после первичной обработки (известно, что даже третичная очистка сточных вод не освобождает их полностью от микроорганизмов). Например, в Латинской Америке лишь около 15% собираемых сточных вод проходит через станции очистки (с различным уровнем очистки) [80]. В Венесуэле 97% стоков сбрасывается неочищенными, а в Китае – ~ 55%. Патогенные микроорганизмы также поступают в водотоки с поверхностным стоком с территорий городов, поскольку городские почвы нередко отличаются их повышенным содержанием [12, 16].

Таблица 22. Содержание колиформ в воде и сточных водах различных категорий [19]

Вода	БПК ₅ , мг/л	Колиформы в 1 мл
Бытовые сточные воды	> 400	> 80000
Выпуски обработанных сточных вод	20	8000
Сырая вода, пригодная для водоснабжения	4	5000
Питьевая вода	3	0,01

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в последние годы в России заметно возросло микробное загрязнение поверхностных водоемов: с 12,5% в 1991 г. до 22,8% в 1997 г. [5]. В 20% проб воды обнаруживали колифаги, что свидетельствует о загрязнении ее вирусами, в 3,4% проб выявлены возбудители инфекционных заболеваний. В 2001 г. доля проб воды водных объектов, не отвечающих микробиологическим нормативам, в целом по России составила около 22% [11]. Из-за недостаточных мощностей очистных сооружений во многих российских городах, расположенных на побережье Каспия, отмечается интенсивное микробиологическое загрязнение прибрежных акваторий [2]. В районе г. Улан-Удэ в воде р. Селенги установлено высокое содержание специфических колиформных микроорганизмов (до 10-27 тыс. кл/л) [1]. Для многих районов страны серьезную проблему представляет загрязнение водотоков и их обитателей гельминтами [13], что нередко обусловлено техногенными факторами. Следует отметить, что вирусы и другие микроорганизмы относительно активно адсорбируются из воды твердыми частицами, содержащимися в сточных и природных водах [19]. Это не исключает накопление микроорганизмов в донных отложениях водотоков и водоемов, принимающих сточные воды. В донных отложениях поверхностных водных объектов в зонах техногенного загрязнения обнаруживаются повышенные количества яиц и личинок моноксенных гельминтов [13].

В р. Карадарью (основной приток р. Сырдарьи) в районе ее истока (из Андижанского водохранилища) сбрасываются хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды [16]. Это приводит к тому, что весной общее содержание микроорганизмов в воде составляет около 6 млн. кл/мл, а содержание бактерий кишечной палочки группы 8 – 8 кл/мл воды. Ниже г. Андижана эти

величины достигали 10 млн. кл/мл и 500 кл/мл, а ниже сброса стоков гидролизного завода – 18 млн. кл/мл и 220 кл/мл соответственно. В низовьях реки техногенное влияние ослабевало и перед впадением в р. Нарын численность микроорганизмов снижалось до 5 млн. кл/мл, а бактерий кишечной палочки до 120 кл/мл. В р. Ямуна близ г. Дели (Индия) содержание фекальных колиформ в 1995 г. составляло $3,98 \times 10^4$ MPN/100 мл, в 2002 г. – $2,70 \times 10^5$ MPN/100 мл [81]. Средние концентрации общих колиформ в речных водах городских районов Южной Калифорнии были в пять раз выше, чем в водах сельских местностей, а концентрации *E. coli* – в шесть раз [73] (табл. 23).

Таблица 23. Концентрации взвешенных колиформных бактерий в речных водах Юж. Каролины, 2003 г. [73]*

	9-11 июня	16-18 июня	23-25 июня	7-9 июля
Общие колиформы, клетки / 100 мл				
Городские районы	22332±7934	54179±14080	20984±4214	41270±4580
Сельские районы	11958±2351	10589±3166	7908±1563	17660±4997
<i>Escherichia coli</i> , клетки / 100 мл				
Городские районы	577±142	3383±1313	1639±486	1971±563
Сельские районы	320±99,9	646±238	272±63	496±174

* Пробы отобраны в 3 городских и в 10 сельских районах.

До недавних пор во многих странах мира широко практиковался сброс ОСВ в морские акватории, что обуславливало биологическое загрязнение водной среды. Так, в осадках сточных вод, сбрасываемых через канализационный коллектор в море в районе г. Барселоны, концентрация яиц гельминтов составляла 20-340 экз/кг [90]. При этом в 30% всех проб содержались яйца не менее 4 видов паразитов (нематоды и цестоды). В речных отложениях двух рек яйца гельминтов обнаружены в 80-90% всех проб. В литоральной зоне, не подверженной влиянию сточных вод, яйца обнаружены лишь в 20% проб, а в зоне влияния сбросов гельминтами были заражены все пробы донных отложений. По мере увеличения расстояния от берега зараженность отложений гельминтами уменьшается. На разных участках побережья паразитарное загрязнение отложений исчезает в 4-12 км от берега. В работе [76] приводятся результаты исследований качества воды р. Ллобрегат, типичной среднеземноморской реке с малыми расходами воды (16-20 м³/с), протекающей к югу от Барселоны и принимающей промышленно-бытовые сточные воды с урбанизированных территорий, выполненные в период с июня 1983 по декабрь 1984 г. (с ежемесячным отбором проб) в двух точках (расход воды на первом створе – 16, на втором – 20 м³/с). Первый створ располагался ~ 12-14 км выше г. Барселоны, второй – ~ в 3,5 км выше устья реки (в пределах Барселоны). Основные источники загрязнения располагались между станциями наблюдения. Исследовалось распределение температуры воды, значений рН и ХПК, концентраций фосфатов и соединений азота, а также содержание общих колиформ, фекальных колиформ и фекальных стрептококков (табл. 24).

Таблица 24. Физико-химические и бактериологические характеристики воды, мг/л [76]

Параметр	Створ 1				Створ 2			
	среднее	ст. отк.*	минимум	максимум	среднее	ст. отл.*	минимум	максимум
Физико-химические показатели, мг/л								
t°С	15,8	6,4	4,5	26,5	15,66	6,1	6,6	25,8
рН	7,7	0,3	7,2	8,2	7,6	0,2	7,1	7,9
ХПК	117,88	86,36	24,10	337,00	156,06	96,65	48,10	362,05
PO ₄ ³⁺	2,27	1,39	0,80	5,69	3,860	2,687	0,330	10,630
N/NO ₃ ⁻	1,83	0,88	0,10	3,25	1,595	1,010	0,0110	2,780
N/NO ₂ ⁻	0,227	0,0669	0,140	0,631	0,165	0,101	0,008	0,356
N/NH ₄ ⁺	5,62	6,07	0,05	20,10	8,33	11,39	0,05	43,90
Микробиологические показатели (п × 10 ⁵ на 100 мл)								
Общие колиформы	4,09 **	6,55	0,42	24,0	28,7	146	2,40	460
Фекальные колиформы	59,8 **	1,12	0,024	3,90	6,47	65,0	0,75	240
Фекальные стрептококки	0,0688**	1,08	0,0046	4,60	0,519	5,48	0,046	46,0

* Стандартное отклонение

** Среднее геометрическое.

По данным [15], малые водотоки (ручьи) г. Томска отличаются специфическими бактериоценозами, в составе которых существенно преобладает привнесенная микрофлора. Количествен-

ное содержание и качественное разнообразие микрофлоры в городских ручьях превосходит эти параметры для родников. Ручьи гораздо чаще загрязняются аллохтонными сапрофитами, максимальное количество которых превышает 1200 кл/мл воды. Польские авторы установили, что качественный и качественный состав грибов в донных отложениях поверхностных водных объектов Верхней Силезии зависит от уровня загрязнения стоками [96, 97]. Исследования, выполненные Н.С. Золотаревой [9] на р. Язуе – типичной малой реки крупнейшего промышленного города (г. Москва), показали, что состав биоценозов сильно загрязненных рек со временем становится все более схожим с составом биоценозов сооружений биологической очистки сточных вод (табл. 25).

Таблица 25. Число видов, общих для биоценозов водоемов и очистных сооружений [9]

Виды	Число видов				
	река Язуа и ее притоки	Аэротенки и регенераторы активного ила в Московской обл.	Биологические пруды		Пруды-испарители в Астраханской обл.
			в Московской обл.	в Донецкой обл.	
Нитчатые бактерии	9	2	2	2	6
Золотистые водоросли	1	1	-	-	-
Диатомовые водоросли	9	1	2	2	4
Эвгленовые водоросли	4	1	1	1	1
Зеленые	13	2	6	3	4
Сине-зеленые водоросли	4	1	2	2	1
Харовые водоросли	1	-	-	-	-
Высшие водные растения	3	-	1	1	1
Простейшие	24	9	5	6	5
Круглые черви	6	4	-	2	1
Кольчатые черви	3	1	1	1	1
Членистоногие	4	-	1	1	-
Моллюски	4	-	1	1	1

Так, и в р. Язуе и в составе биоценозов очистных сооружений много нитчатых бактерий, водорослей, простейших, которые являются эврибионтными видами. Таким образом, в результате естественного отбора при постоянно возрастающем загрязнении в реке из указанных видов формировались биоценозы, обладающие высокой самоочистительной способностью и устойчивые к загрязнению. Этот факт был отмечен еще в 1905-1907 гг., когда в составе речных биоценозов были выявлены многие виды, характерные для сооружений биоочистки сточных вод. В планктоне, обрастаниях, бентосе и среди эпифитов р. Язуа доминируют нитчатые бактерии, зеленые, эвгленовые, диатомовые водоросли, простейшие, нематоды, коловратки, олигохеты. Рост загрязнения реки от истока к устью отразился на составе водных биоценозов. Так, если в верховьях реки присутствуют водоросли, высшие водные растения, коловратки, низшие ракообразные, моллюски, то в нижнем течении преобладают нитчатые бактерии, простейшие и другие стойкие к загрязнению бионты. Главным образом в верховьях реки встречаются эпифиты, обитающие на макрофитах, червях, моллюсках. Общая численность представителей биоценозов невелика, не слишком резко изменяется в зависимости от сезона и явно уменьшается в направлении от истока к устью реки, а также в местах впадения чрезвычайно сильно загрязненных притоков Язуа. Это уменьшение сопровождается возрастанием количества сапрофитных форм. Указанные изменения в составе биоценозов привели к тому, что самоочищение в реке практически подавлено.

Литература

1. Авдеев В.В., Дрюккер В.В., Моложавая О.А., Афанасьев В.А. Санитарно-микробиологическая оценка воды р. Селенги // Водные ресурсы, 1992. № 5, с. 15-20.

2. *Бабаев А.Г., Зонн И.С.* Природопользование в регионе Каспийского моря // Вестник РАН, 2005, № 8, с. 715-719.
3. Гидробиологический режим малых рек в условиях антропогенного воздействия. – Рига: Зинатне, 1981. – 166 с.
4. *Голубовская Э.К.* Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978. – 268 с.
5. *Долгонос Б.М.* Предпосылки системной катастрофы в централизованном водоснабжении // Вода, 2004, № 1, с. 19-20.
6. *Евилевич А.З., Евилевич М.А.* Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
7. *Задорожная В.И.* Энтеровирусы в объектах окружающей среды // Гигиена населенных мест, 1990, № 29, с. 22-24.
8. *Зарубин Г.П.* Санитарный контроль за эффективностью работы очистных сооружений бытовых сточных вод. – М.: Медицина, 1977. – 183 с.
9. *Золотарева Н.С.* Особенности формирования качественного и количественного состава биоценозов малых загрязненных рек // Водные ресурсы, 1979, № 3, с. 143-150.
10. Использование сточных вод для орошения земель. – М.: Колос, 1983. – 167 с.
11. *Калиненко Н.А., Макарова О.А.* Загрязнение р. Иртыш солями тяжелых металлов и их влияние на растительный мир водоемов // Электронный научный журнал «Вестник Омского государственного педагогического университета». Выпуск 2006 // www.omsk.edu.
12. *Колодина Л.Н., Белых Е.Н.* Микробиологическое загрязнение почв города Москвы // <http://www.ecocity.ru/insertfiles/survey5.doc>.
13. *Котельников Г.А.* Гельминтологические исследования окружающей среды. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 144 с.
14. *Кудашкина С., Волынкина Е.* Отходы в доходы (Лаборатория утилизации промышленных отходов ОАО ЗСМК, НПП «Экоуголь») // Эко-бюллетень ИнЭКА // <http://www.ineca.ru>.
15. *Кузеванов К.И., Наливайко Н.Г., Дутова Е.М., Покровский Д.С.* Химический и микробиологический состав вод ручьев городской территории Томска // Изв. ТПУ. Естественные науки, 2005, 308, № 2, с. 48-544.
16. *Кутлиев Д.* Бактериальные показатели загрязнения воды реки Карадарья // 5 Съезд Всес. гидробиол. о-ва, Тольятти, 15-19 сентября, 1986. Тез. докл. Ч. 1. – Куйбышев, 1986, с. 196-197.
17. *Латынова В.З., Селивановская С.Ю.* Некоторые аспекты нормирования качества и утилизации осадков сточных вод // Экологическая химия, 1999, № 8, с. 119-129.
18. *Лотош В.Е.* Утилизация канализационных стоков и осадков // <http://ecobooks.nm.ru/txt/sewageutil.pdf>.
19. Микробиология загрязненных вод: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1976. – 320 с.
20. Обработка и удаление осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1985. – 347 с.
21. *Окун Д.А., Понгис Дж.* Сбор и удаление сточных вод в населенных пунктах: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1977. – 328 с.
22. *Покровская А.И., Касатиков В.А.* Использование осадка городских сточных вод в сельском хозяйстве. Обзорная информация. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 59 с.
23. Применение обработанных химическими реагентами осадков городских сточных вод в качестве удобрения (Рекомендации). – Владимир, 1986. – 31 с.
24. Птицы техногенных водоемов Центральной России. – М., 1997. – 198 с.
25. *Разумовский Э.С., Медрин Г.Л., Казарян В.А.* Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. – М.: Стройиздат, 1978. – 152 с.
26. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
27. *Романенко Н.А.* Санитарно-гельминтологическая характеристика современных методов обработки и использования осадков сточных вод в сельском хозяйстве // Использование осадков

сточных вод и твердых бытовых отходов в сельском хозяйстве (Тез. докл. координац. научн.-техн. сов.). – Владимир: ВНИПТИОУ, 1983, с. 43-45.

28. Романенко Н.А., Гафурова З.М. Осадок сточных вод: паразитологическая характеристика, методы обеззараживания и использования в сельском хозяйстве // Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля. Мат-лы научн.-техн. конф. Пенза, 1996. – Пенза, 1996, с. 7-10.

29. Романенко Н.А., Хайдаров А.Х., Рыжкова Л.К., Салохутдинов М.С. Гельминтологические аспекты полевого и промышленного совместного компостирования твердых бытовых отходов и осадков сточных вод // Использование осадков сточных вод и твердых бытовых отходов в сельском хозяйстве (Тез. докл. координац. научн.-техн. сов.). – Владимир: ВНИПТИОУ, 1983, с. 46-48.

30. Руководство по контролю качества питьевой воды. Т. 2: Гигиенические критерии и другая релевантная информация: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1987. – 325 с.

31. СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения.

32. Сергеев Е.П., Можяев Е.А. Санитарная охрана водоемов. – М.: Медицина, 1979. – 152 с.

33. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.

34. Хойлэнд Г. Повышение эффективности анаэробного сбраживания осадков сточных вод // Сантехника, отопление, кондиционирование, 2007, № 11 // <http://c-o-k.ru/showtext/?from=online&id=1832>.

35. Abdel-Hafez A.I.I., El-Sharouny H.M.M. The occurrence of keratinophilic fungi in sewage sludge from Egypt // J. Bas. Microbiology, 1990, v. 30, p. 73-79.

36. Aquifer bacteria may hold the key to clean water // Mar. Pollut. Bull., 2000, 40, № 3, p. 200.

37. Amin O.M. Pathogenic micro-organisms and helminths in sewage products, Arabian gulf, county of Bahrain // Am. J. Publ. Health, 1988, v. 78, pp. 314-315.

38. Arther R.G., Fitzgerald P.R., Fox J.C. Parasite ova in anaerobically digested sludge // J. Water Pollut. Control. Fed., 1981, v. 53, p. 1333-1338.

39. Benckiser G., Simarmata T. Environmental impact of fertilizing soils by using sewage and animal wastes // Fertilizer Research, 1994, v. 37, p. 1-22.

40. Bina B., Movahedian H., Kord I. The effect of lime stabilization on the microbiological quality of sewage sludge // Iranium J. Env. Health Sci. Eng., 2004, 1, № 1, p. 34-38.

41. Biosolids applied to land: advancing standards and practices. USA. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC. July 2002 // <http://www.nap.edu>.

42. Blanch A.R., Jofre J. Emergeng pathogens in wastewaters // The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 5, Part I. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004, p. 141-163.

43. Cabaret J., Geerts S., Madeline M. et al. The use of urban sewage sludge on pastures: the cysticercosis threat // Vet. Res., 2002, v. 33, p. 575-597.

44. Caccio S.M., DeGiocome M., Aulicino F., Edoardo P. Giardia cysts in wastewater treatment plants in Italy // Appl. Environ. Microbiol., 2003, v. 69, p. 3393-3398.

45. Carrington E.G. Evaluation of sludge treatments for pathogen. CO 5026/1. – Luxembourg: Office for Official Publications of the EC, 2001.

46. Chale-Matsau J.R.B. Persistence of human pathogens in a crop grown from sewage sludge treated soil (Submitted in partial fulfillment of requirement for the degree of PHILOSOPHIAE DOCTOR). – Pretoria: University of Pretoria, 2005.

47. Chapter 2. Sewage sludge pathogens // www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r92013/625R92013chap2.pdf.

48. Cohen J., Shuval H.I. Coliforms, fecal coliforms, and fecal streptococci as indicators of water pollution // Water, Air, and Soil Pollut., 1973, v. 2, p. 85-95.

49. *Cooke W.B.* Fungi in soil over digested sewage sludge has been spread // *Mycopathologia*, 1969, v. 39, № 3-4, p. 209-229.
50. *Cooke W.B., Pipes W.O.* The occurrence of fungi in activated sludge // *Mycopathol. Mycol. Appl.*, 1970, 40, № 3, p. 249-50.
51. *Eastman B.R., Kane P.N., Edwards C.A. et al.* The effectiveness of vermiculture in human pathogen reduction for USEPA biosolids stabilization // *Compost Science and Utilization*, 2001, 9, № 1, p. 38-49.
52. *Fars S., Oufdou K., Nejmeddine A. et al.* Antibiotic resistance and survival of fecal coliforms in activated sludge system in a semi-arid region (Beni Mellal, Morocco) // *World J. of Microbiology and Biotechnology*, 2005, v. 21, p. 493-500.
53. *Ferguson C.M., Coote B.G., Ashbolt N.J., Stevenson I.M.* Relationships between indicators, pathogens and water quality in an estuarine system // *Water. Res.*, 1996, v. 30, p. 2045-2054.
54. *Garsia-Armisen T., Servais P.* Respective contributions of point and non point sources of *E. coli* and Enterococci in large urbanised watershed (the Seine river, France) // *J. Environ. Manage.*, 2007, v. 82, p. 512-518.
55. *Gaspard P., Wiart J., Schwartzbrod J.* Parasitological contamination of urban sludge used for agricultural purposes // *Waste Manag. Res.*, 1997, v. 15, p. 429-436.
56. *George I., Petit M., Theate C., Servais P.* Distribution of coliforms in the Seine and estuary (France) studied by rapid enzymatic methods and plate count // *Estuaries*, 2001, v. 24, p. 994-1007.
57. *George I., Crop P., Servais P.* Fecal coliforms removal by wastewater treatment plants studied by plate counts and enzymatic methods // *Water Res.*, 2002, v. 36, p. 2607-2617.
58. *George I., Anzil A., Servais P.* Quantification of fecal coliform inputs to aquatic systems through soil leaching // *Water Res.*, 2004, v. 38, p. 611-618.
59. *Gerba C.P., Page A.L., Gleason T.L. et al.* Pathogens in utilization of municipal wastewater and sludge on land. – Riverside: University of California, 1983. – 147 p.
60. *Gerba C.P., Smith J.E.* Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes // *J. Environ. Qual.*, 2005, 34, p. 42-48.
61. *Graczyk T.K., Lucy F.E., Tamang L., Mirafior A.* Human enteropathogen load in activated sewage sludge and corresponding sewage sludge end products // *Appl. Environ. Microbiol.*, 2007, v. 73, № 6, p. 2013-2015.
62. *Graszyk T.K., Kacprzak M., Neczaj E. et al.* Human-virulent microsporidian spores in solid waste landfill leachate and sewage sludge, and effects of sanitization treatments on their inactivation // *Parasitol. Res.*, 2007, v. 101, 569-575.
63. *Haugaard P.* Cysticercosis and salmonellosis in cattle caused by sewage sludge on Danish farmland // *Waste Manag. Res.*, 1984, v. 2, p. 163-168.
64. *Heitkamp M.A., Kane J.F., Morris P.J.L. et al.* Fate in sewage of a recombinant *Escherichia coli* K-12 strain used in the commercial production of bovine somatotropin // *J. of Industrial Microbiology*, 1993, v. 11, p. 243-252.
65. *Horak P.* Helminth eggs in the sludge from three sewage plants in Czechoslovakia // *Folia Parasitol.*, 1992, v. 39, p. 153-157.
66. Human health and the environmental impacts of using sewage sludge on forestry and for restoration of derelict land. Task 1 – Desk-based literature review of the human health impacts of spreading sewage sludge on non-agricultural land. Final Report. Project: UKLQ09. – SNIFFER, 2007 // www.sniffer.org.uk.
67. *Ingram W.M., Ballinger D.G., Gaufin A.R.* Relationship of *Sphaerium Solidulum* prime to organic pollution // *The Ontario J. of Science*, 1953, 53, № 4, p. 230-235.
68. *Jamal P., Alam Md.Z., Ramlan M. et al.* Sewage treatment plant sludge: A source of potential microorganism for citric acid production // *American J. of Appl. Sci.*, 2005, v. 2, № 8, p. 1236-1239.

69. Jin M., Wang X.-W., Gong T.S. et al. A novel membrane bioreactor enhanced by effective microorganisms for the treatment of domestic wastewater // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2005, v. 69, p. 229-235.
70. Keller P. Sterilization of sewage sluges // *Inst. Sewage Purif.*, 1951, p. 92.
71. Land Application of Municipal Sewage Sludge Guidelines. Saskatchewan Environment. EPB 296. June 2004
72. Larsen H. Vurdering af sundhedsmaessige risici ved slamdeponering i jordbruget // *Dansk Veter-Tidsskr.*, 1978, 61, № 6, s. 282-286.
73. Lewis G.P., Mitchell J.D., Andersen C.B. et al. Urban influences on stream chemistry and biology in the Big Brushy Creek watershed, South Carolina // *Water, Air, and Soil Pollut.*, 2007, v. 182, p. 303-323.
74. Ligocka A., Paluszak Z. Capablity of lactic acid bacteria to inhibit pathogens in sewage sludge subjected to biotechnological processes // *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, 2005, v. 49, p. 23-27.
75. Lippy E.C., Waltrip S.C. Water borne disease outbreaks – 1946-1980: a thirty-five-year perspective // *J. Amer. Water Works Assoc.*, 1984, 76, № 2, p. 60-67.
76. Lucena F., Bosch A., Ripoll J., Jofre J. Fecal pollution in Llobregat River interrelationships of viral, bacterial, and physico-chemical parameters // *Water, Air, and Soil Pollution*, 1988, 39, № 1-2, p. 15-25.
77. Mascher F., Feier G., Haas D. et al. Salmonellen im Klärschlamm von Abwasserreinigungsalagen in der Steiermark/Österreich – Seuchenhygienische Aspekte // *Zentralbl. Hyg. und Umweltmed.*, 1995, 197, № 4, s. 305-306.
78. Moussavou-boussougou M.N., Geerts S., Madeline M. et al. Sewage sludge or cattle slurry as pasture fertilisers: comparative cysticercosis and trichostrongylosis risk for grazing cattle // *Parasitol. Res.*, 2005, v. 97, p. 27-32.
79. Occurrence and fate of antibiotic resistant bacteria in sewage. Environmental Project No 722 2002. – Danish Environmental Protection Agency. – 71 p.
80. Okoh A.I., Odjadjare E.E., Igbiosa E.O., Osode A.N. Wastewater treatment plants as s source of microbial pathogens in receiving watersheds // *Agrican J. of Biotechnol.*, 2007, v. 8 (25), p. 2932-2944.
81. Pant A., Mittal A.K. Monitoring of pathogenicity of effluents from the UASB based sewage treatment plant // *Environ. Monit. Assess.*, 2006 //
82. Pathogens in biosolids – microbiological risk assessment. Publ. by UK Water Industry Research Limited, 2003 // <http://www.defra.gov.uk>.
83. Patogen Risk Assessment Methodology for Municipal Sewage Sludge Landfilling and Surface Disposal. Project Summary. EPA/600/SR-95/016, February 1996.
84. Raygor S.C., Mackay K.P. Bacterial air pollution from an activated sludge tank // *Water, Air, and Soil Pollut.*, 1975, v. 5, p. 47-52.
85. Sanlstrom L., Aspan A., Bagge E. et al. Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants // *Water Research*, 2004, v. 38, p. 1989-1994.
86. Santamaria J., Toranzos G.A. Enteric pathogens and soil: a short review // *Int. Microbiol.*, 2003, v. 6, p. 5-9.
87. Servais P., Billen G., Goncalves A., Garcia-Armisen T. Modelling microbiological water quality in the Seine river drainage network: past, present and future situations // *Hudrol. Earth Syst. Sci.*, 2007, 11, p. 1581-1592 // www.hydrol-earth-syst-sci.net.
88. Servais P., Garnier J., Demarteau N. et al. Supply of organic matter and bacteria to aquatic ecisystems through wasrewater effluents // *Water Res.*, 1999, v. 33, p. 3521-3531.
89. Schoberth S. A new strain of *Desulfovibrio gigas* isolated from a sewage plant // *Arch. Mikrobiol.*, 1973, v. 92, p. 365-368.

90. *Schwartzbrod J., Thevenot M.T., Stien J.L.* Helminth eggs in marine and river sediments // *Marine Pollut. Bull.*, 1989, 20, № 6, p. 269-271.
91. *Sharpe M.* The science of the unclean // *J. Environ. Monit.*, 2001, v. 3, p. 2N-6N.
92. *Sun Y.H., Luo Y.M., Wu L.H. et al.* Survival of faecal coliforms and hygiene risks in soils treated with municipal sewage sludges // *Environm. Geochemistry and Health*, 2006, v. 28, p. 97-101.
93. *Szymanski N., Patterson R.A.* Effective microorganisms (EM) and wastewater systems // *Future directions for on-site systems: Best management practice proceedings of on-site '03 Conference. Held at University of New England, Armidale 30th September to 2nd October 2003. Publ. by Lanfax Laboratories Armidale, 2003, p. 347-354 // www.landfaxlabs.com.au.*
94. *Tryland I., Surman S., Berg J.D.* Monitoring faecal contamination of the Thames estuary using semiautomated early warning system // *Water Sci. Technol.*, 2002, v. 46, p. 25-31.
95. *Ułfig K.* Studies of keratinolytic and keratinophilic fungi in sewage sludge by means of a multi-temperature hair baiting method // *Polish J. of Environ. Studies*, 2003, 12, № 4, p. 461-466.
96. *Ułfig K., Terakowski M., Płaza G., Kosarewicz O.* Keratinolytic fungi in sewage sludge // *Mycopathologia*, 1996, v. 136, p. 41-46.
97. *Ułfig K., Ułfig A.* Keratinophilic fungi in bottom sediments of surface waters // *J. Med. Veter. Mycol.*, 1990, v. 28, p. 419-422.
98. *Vidyarathi A.S., Desrosiers M., Tyagi R.D., Valéro J.R.* Foam control in biopesticide production from sewage sludge // *J. of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2000, v. 25, p. 86-92.
99. *Vigneswaran S., Sundaravadivel M.* Recycle and reuse of domestic wastewater // *Encyclopedia of Life Support Systems. Wastewater recycle, reuse, and reclamation // www.eolss.net/ebooks/Sample%20Chapters/C07/E2-14-01.pdf*.
100. *Vucāns A., Gemste I.* Change of pathogenic bacteria amounts in sewage sludge as influenced by storage // *Intern. conf. Eco-Balt '2006, May 11-12, 2006, Riga, Latvia. – Riga, 2006, p. 67-68.*
101. *Walsh M.J.* Sludge handling and disposal – an American perspective // *Water Qual. Int.*, 1995, № 2, p. 20-23.