

ИЗУЧЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ МЕГАПОЛИСОВ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ

Проведен анализ бактериального состава водной среды города. Материалом для исследований явились данные многолетнего мониторинга поступающих на очистные сооружения и очищенных стоков. Проведен анализ новейших методов по изучению метагенома активного ила и других городских сред. Отмечено взаимное влияние подсистем водной среды мегаполиса, обусловленное обменом бактериальными сообществами. Выделены подсистемы, наиболее подходящие для осуществления селекции бактериальных сообществ: коллекторная сеть города, очистные сооружения, искусственно созданные экотопы в водоприемниках.

Введение

Водная система мегаполисов или городов, испытывающих дефицит воды, диктует принципиально новые подходы к водоочистке. Водный ресурс должен достаточно быстро восстанавливаться до нормативов питьевой воды. Реклейминг ныне становится базовым принципом для многих городов [1, 2]

Качество городских поверхностных и грунтовых вод зависит от состава (гидрохимического, гидробиологического и пр.) сточных вод. Этот состав, в свою очередь, определяется социальными, культурными, техническими и пр. особенностями городской структуры. Еще в начале 20 века С.Н.Строгановым [3] введен в научный обиход термин «физиология города». По утверждению автора качество жидкости, поступающей на очистные сооружения, определяется пищевым рационом горожан — «Городское поселение, рассматриваемое как своеобразный колониальный организм, в своем возникновении, развитии, упадке и смерти, подчинено определенным

Н.М. Щеголькова*, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук

М.А. Перцева, студентка биологического факультета, ФГОУ ВПО Московский государственный университет им М.В. Ломоносова

закономерностям. Статистика движения населения — рождаемость, заболеваемость, смертность, рост территории, движение грузов, экономическое и промышленное развитие и т. д., и т. д. — все это, несомненно, находится во взаимной связи и в зависимости от целого ряда природных факторов и, следовательно, может составить предмет научного исследования, столь же интересного, как изучение человека—элемента этой колонии.» [3]. Строганов наблюдал качество сточной жидкости г. Москвы в периоды 1903-1914 г. (нормальной жизни города); 3 года войны (1915—1917) и, наконец, с 1918 по 1922 г. — годы революции и резкого изменения социального быта города. В его работе было доказано, что в голодные годы доля белкового азота в сточной жидкости существенно снижается, что ощутимо влияет на процессы биологической очистки воды.

Процессы биологической очистки протекают при участии активного ила (**АИ**) (взвешенного или прикрепленного), который индивидуален для каждого города [4]. Технолог очистного сооружения учитывает видовой состав этого бактериоценоза для эффективной очистки от азота [5-7], от фосфора [8], от ксенобиотиков [9-11], пр.

Известно, что биологическая очистка воды базируется на процессах жизнедеятельности бактериальных сообществ. Выделять и описывать такие сообщества человечество училось более ста лет, с момента разработки метода биологической очистки. В последние годы появились методики и соответствующее оборудование, позволяющие наиболее полно определить видовой состав бактериоценозов: новейшая масс-спектрометрия, секвенирование нового поколения [12, 13], метод ПЦР и использование ДНК микрочипов [14, 15]. Вышеприведенные методы позволяют изучить бактериоценозы водной среды города быстро и досконально.

Суть проблемы состоит в том, что современные технологии очистки вод, в основ-

*Адрес для корреспонденции: nshegolkova@mail.ru

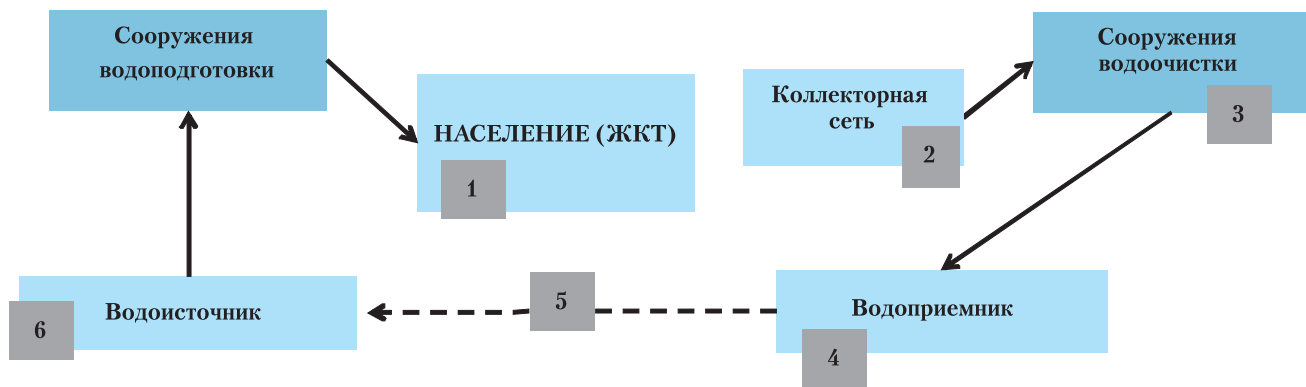


Рис. 1. Общая структура водной системы мегаполиса. В серых квадратах отмечены места селекции бактериальных сообществ.

ном, дороги, энергозатратны, недостаточно эффективны (например, в тех случаях, когда нужно удалить ксенобиотики). На наш взгляд, без учета и использования структурных и функциональных особенностей бактериоценозов водной среды города (как системы) эти три проблемы не устраняются.

Цель работы — показать на базе многолетнего мониторинга и новейших научных достижений пути решения проблем, приведенных выше, которые с высокой вероятностью способны наметить новое научное направление.

Материалы и методы исследования

Материалом для анализа послужили данные, полученные от многолетнего наблюдения за содержанием бактерий в поступающих и очищенных водах московских сооружений очистки, а также в реке-водоприемнике очищенных вод — р. Москве. Использованы общепринятые в производственном экомониторинге методы анализа — определение содержания бактерий по посеву на МПА (гетеротрофные бактерии), на среду Эндо (колиформные бактерии).

Период наблюдения включает 1951–2003 гг. Кроме того, проведен анализ новейших материалов по изучению метагенома АИ и других городских сред.

Результаты и их обсуждение

Биологическое единство водной среды города
Водоснабжение и водоотведение — базовые части единой системы города.

Рассмотрим этапы движения воды в процессе потребления ее мегаполисом (рис. 1). На станциях водоподготовки вода из поверхностных или подземных источников доводится до нормативного качества, после чего она поступает к потребителям.

Вода, как известно, расходуется на питьевые и санитарные нужды. После бытового использования стоки поступают в систему канализации. При этом важно отметить, что в развитых странах и в современной России стоки формируются различно: черные (собственно канализационные) и серые (воды душевых и кухонь) стоки в развитых странах и единое водоотведение у нас.) «Использованные» бытовые сточные воды следуют на станции биологической очистки. Затем очищенные стоки направляются в местный водоприемник (река, водоем, море). В случае повторного использования воды (реклеинг) водоприемник является одновременно и водоисточником. Если же водоприемник — река, то смесь сточных и речных вод становится питьевым ресурсом городов, имеющих водозаборы ниже по течению (пунктирная линия на рис. 1).

Каждый этап движения воды характеризуется специфическим бактериальным сообществом. Основные структурные особенности бактериоценозов на каждом из этапов приведены в табл. 1. Количество бактерий для питьевой воды на выходе со станции водоподготовки и биологически очищенной воды после обеззараживания принимались в соответствии с нормативными документами (СанПиН 2.1.4.1074-01 и МУ 2.1.5.800-99, соответственно)

Качество питьевой воды — один из базовых факторов, определяющих здоровье человека. Российский СанПиН на питье-

вую воду допускает в ней некоторое количество бактерий (не более 50 в 1 мл), при этом наличие патогенов запрещается вообще. Рассмотрим теперь взаимовлияние человеческой популяции города и водной среды, используемой для нужд населения.

Из данных *табл. 1* следует, что наибольшее количество бактерий содержится в бытовых стоках и в АИ. Бактериоценоз стоков формируется в значительной мере за счет бактериоценоза желудочно-кишечного тракта (**ЖКТ**).

Бактериоценоз ЖКТ жителей города

В последние годы, опубликовано немало статей по метагеному ЖКТ жителей земли. Появление этих статей обусловлено интенсивным развитием методов качественной и количественной оценки видового состава бактериальных сообществ (**БС**). Видовой состав и функционирование БС ЖКТ вызывает повышенный научный интерес, что связано со следующими причинами: влиянием БС ЖКТ на здоровье человека и иммунитет [16-18], большим числом бактерий ЖКТ, на порядок превышающим количество клеток человека [19], варьированием видового состава БС ЖКТ в зависимости от возраста, пола и состояния здоровья людей, от их места жительства и питания [20-23].

За последние годы выявлено, что у детей до 3-х лет микробиом ЖКТ обладает рядом структурных и функциональных отличий от микробиома взрослых. Видовой состав БС ЖКТ взрослых значительно различает-

Ключевые слова: метагеном, активный ил, сточные воды, водная система города, физиология города

ся у жителей разных стран [22]. Например, только в ЖКТ японцев есть бактерии, производящие особые ферменты для расщепления порфирана. Это вещество содержится в красных водорослях, которые составляют важную часть рациона японцев [24]. Таким образом, БС ЖКТ каждого города уникален.

Чем выше плотность городского населения, тем значимей становится фактор селекции БС суммарного ЖКТ горожан. Возможная причина заключается в том, что ежедневно часть БС ЖКТ попадает в канализационные сточные воды, являющиеся средой обитания и субстратом для находящихся в них БС. Канализационные воды, обогащенные бактериями, далее движутся на очистные сооружения.

Сезонная динамика изменения численности и видового состава БС сточных вод

Данные многолетнего наблюдения выявили сезонную изменчивость количества и видового состава БС поступающих сточных вод в периоды 1959-1969 и 1999-2003 гг. Достоверно (*рис. 2*) показано для первого периода, что количество гетеротрофных бактерий, количество колиформных бактерий, а также доля этих бактерий в течение года различалось в 2-3 раза. В среднем доля колиформных бактерий от гетеротрофов достоверно снижалась с 18 летом до 8 % зимой.

Для второго периода достоверно значимой сезонной изменчивости не наблюдалось, заметна лишь тенденция в уменьшении доли колиформных бактерий летом. Это обусловлено тем, что количество бактерий в стоках зависит от двух факторов: поступление их в бытовые сточные воды и прирост бактерий в коллекторной сети города. Поступление происходит большей частью с «черными водами». На первом графике для периода середины 20 в. (*рис. 2 а*) заметно, что летом количество поступающих гетеротрофов увеличивалось втрое. Это объясняется интенсификацией прироста бактерий при повышении температуры и дополнительным поступлением с органическими отходами. В московской климатической зоне летом этих отходов поступало в канализацию значительно больше в связи с обилием фруктов и овощей.

В первый период (середина века) достоверная сезонная неоднородность содержания в стоках колиформных бактерий, связанных с ЖКТ человека, однозначно демонстрирует прирост этих бактерий в кана-

Таблица 1

Характеристика бактериальных сообществ на разных этапах движения воды.

Этапы	Количество гетеротрофных бактерий по посеву на МПА (тыс. КОЕ /мл)
Водоисточники (поверхностные)	≤ 0,15
Питьевая вода на выходе со станции водоподготовки (СанПиН 2.1.4.1074-01)	≤ 0,00005
Желудочно-кишечный тракт человека	≥ 10000
Поступающая сточная вода на сооружения очистки	800-2000
АИ	≥ 10000
Биологически очищенная вода без обеззараживания	15-100
Биологически очищенная вода после обеззараживания (МУ 2.1.5.800-99)	≤ 0,001
Вода водоприемника ниже створа смешения	≥ 15

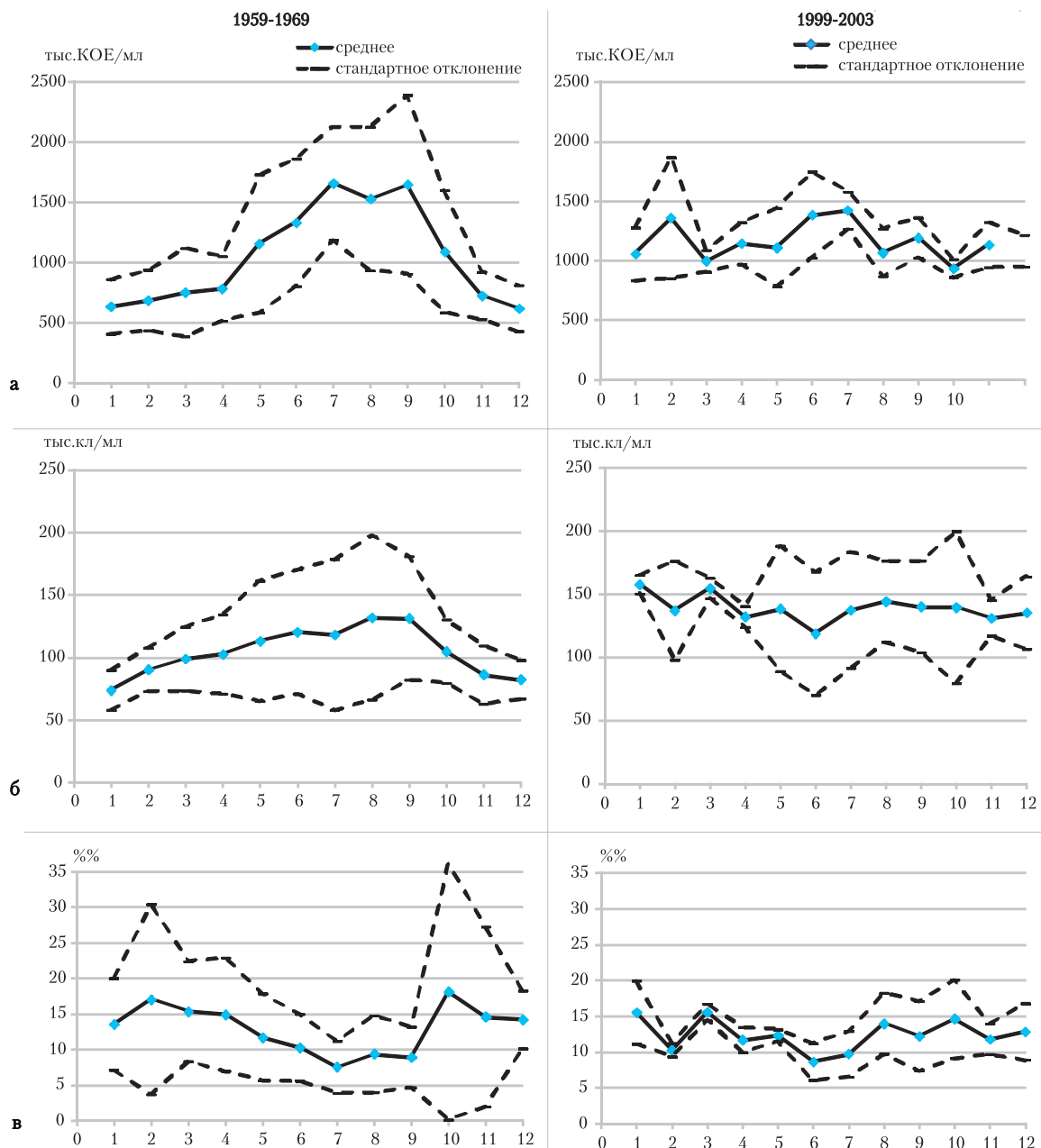


Рис. 2. Сезонная динамика структуры бактериоценозов, поступающих на очистное сооружение стоков по данным наблюдений поступающих сточных вод в периоды с 1959 по 1969 и с 1999 по 2003 гг.: а – содержание бактерий на среде МПА (гетеротрофы); б – содержание бактерий на среде Эндо (бактерии колиформные); в – отношение (%) колиформных бактерий от общего числа гетеротрофов.

лизационных трубах и каналах. Последний график для периода 1959-1969 гг. (рис. 2 в) свидетельствует о том, что суммирование этих трех процессов (прирост как гетеротрофных, так и колиформных бактерий и увеличение поступления гетеротрофов летом) приводило к сезонности структуры поступающего бактериоценоза в стоках города.

Выявленная нами сезонная неоднородность фиксировалась до середины 90-х 20 в., после чего летний и зимний периоды

практически перестали различаться, а средний уровень поступления гетеротрофных бактерий стал выше. Объяснить изменения, произошедшие в 90-е годы, можно следующим. В 2007 г. (продолжая концептуальный подход С.Н. Строганова) было показано, что работа канализационной системы во многом определяется «физиологией» города [25]. В «перестроечные» годы нагрузка на очистные сооружения по биоокисляемому органическому веществу и азоту сокращалась аналогично тому, что наблюдал

Таблица 2

Сравнение родового состава бактерий ЖКТ и АИ

	Родовой состав бактерий	АИ [26]	ЖКТ [22]
1	<i>Acidovorax</i>	да	нет
2	<i>Alicyciphilus</i>	да	да
3	<i>Anaeromyxobacter</i>	да	да
4	<i>Candidatus</i>	да	нет
5	<i>Cupriavidus</i>	да	да
6	<i>Dechloromonas</i>	да	да
7	<i>Dyadobacter</i>	да	да
8	<i>Escherichia</i>	да	да
9	<i>Leptothrix</i>	да	да
10	<i>Lutiella</i>	да	нет
11	<i>Marivirga</i>	да	да
12	<i>Methylocystis</i>	да	нет
13	<i>Methylosinus</i>	да	нет
14	<i>Nitrosomonas</i>	да	да
15	<i>Nitrospira</i>	да	да
16	<i>Nitrosovibrio</i>	да	нет
17	<i>Paracoccus</i>	да	да
18	<i>Ralstonia</i>	да	да
19	<i>Riemerella</i>	да	да
20	<i>Vibrio</i>	да	да

С.Н. Строганов в революционный и военный период начала 20 в. Так, с 1989 по 1999 гг. нагрузка по органическому веществу и общему азоту уменьшилась на 30 %. Период середины 90-х годов 20 в. характеризовался как время смены социально-бытовых показателей города. Менялись многие моющие препараты, бытовая химия, продукты питания и др. факторы, влияющие на качество поступающей воды. Сегодня в Москве наличие/отсутствие овощей и фруктов перестало быть сезонным фактором и, одновременно с этим, сезонная динамика содержания бактерий в стоках, поступающих на очистные сооружения, сгладилась. И если ранее температура являлась базовым фактором в приросте биомассы БС, то ныне равномерное (в среднем) поступление субстрата нивелировало температурный фактор. Таким образом, если коллекторную сеть рассматривать как проточный реактор, формирующий БС, то с уверенностью можно утверждать, что видовой состав этого БС до сих пор практически не изучался.

Видовой состав АИ очистных сооружений в зависимости от видового состава ЖКТ горожан

Новейшие методы позволили изучить родовой состав бактерий ЖКТ и АИ [26]. Публикаций на данную тему пока не достаточно. Однако их хватило для оценочного анализа родового состава бактерий ЖКТ и АИ. В табл. 2 приведены основные роды бактерий, населяющих АИ, и наличие/отсутствие этих родов в ЖКТ горожан. Из 20 родов БС, обнаруженных в АИ, 14 функционируют в ЖКТ.

Роль этих бактерий в ЖКТ и АИ различна и в данной статье не рассматривается. Для нашей работы важно их наличие/отсутствие в конкретных БС.

Из ЖКТ эти бактерии поступают на очистные сооружения и селекционируются, после чего выполняют важнейшую работу по удалению органики и азота из сточных вод. Состав БС ЖКТ, в свою очередь, зависит от субстрата, т.е. структуры и качества питания жителей (что подтверждали примеры, приведенные выше).

Процессы самоочищения в водоприемнике в зависимости от видового состава бактерий биологически очищенных сточных вод

Сточные воды, как правило, рассматриваются как агент химического влияния на реки и водоемы, в то время как стоки содержат также активную биоту (бактерии, простейшие, грибы, микроводоросли). Речь, в данном случае, идет о биологически очищенных сточных водах. Их влияние на процессы самоочищения стало очевидным лишь в последние годы. На основании многолетнего наблюдения р. Москвы сделаны балансовые расчеты удаления азота из реки [27, 28]. Показано, что в годы поступления стоков, содержащих бактерии-нитрификаторы, река в нижнем течении очищалась от азота до 80 % от общего поступления.

Система удаления азота из реки работает следующим образом. Денитрификация и анаммокс (процессы, удаляющие азот из реки в атмосферу), протекают: 1) в анаэробном режиме (в донных отложениях и в придонных слоях воды), 2) при постоянном поступлении окисленных форм азота (нитраты, нитриты), 3) при селекции специфического бактериоценоза. Второе условие выполняется при одновременном протекании нитрификации в толще воды и процессов удаления азота в донных отложениях. При учете низких скоростей роста бактерий-нитрификаторов, селекция нитрифицирующих бактериоценозов в реках происходит при наличии исходной биомассы бактерий-нитрификаторов. В те годы, когда бакте-

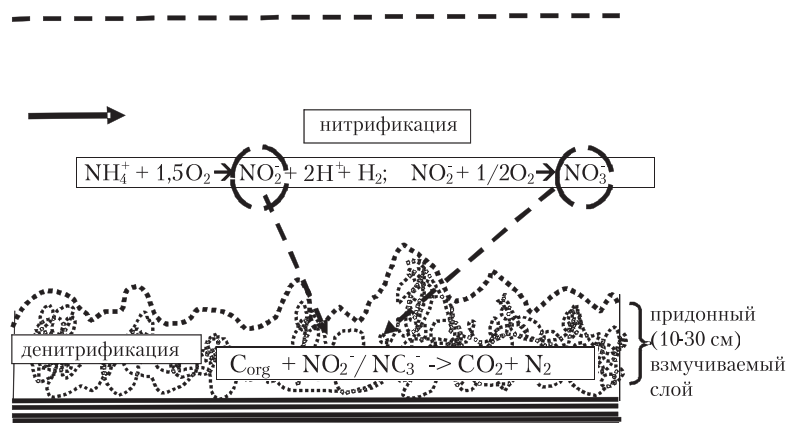


Рис. 3. Река как проточный нитри-денитрификационный реактор.

рии-нитрификаторы не могли быть селективированы на очистных сооружениях (из-за недостаточного времени пребывания, в связи с токсичностью поступающих вод, по др. причинам), река от азота практически не очищалась.

Нами было показано, что река может функционировать как эффективный проточный реактор с нитрификацией в верхней толще воды и денитрификацией (и/или анаммоксом) в постоянно взмучиваемом слое придонных илов (рис. 3). Именно бактерии-нитрификаторы очистных сооружений «запускают» работу этого реактора. В результате процесса денитрификации из реки, предположительно, удаляются и ксенобиотики, опасные органические соединения, созданные человеком, а не природой [29-34]. Поступление бактерий-нитрификаторов из очистных сооружений, таким образом, является механизмом тонкой настройки экосистемных процессов в реке [35].

Ранее нами была показана роль зарегулирования реки в увеличении разнообразия биотопов [36]. Формирование зон с застойным режимом позволило увеличить «возраст» бактериальных сообществ в речных биотопах и повысить самоочищающую способность реки — т.е. река-водоприемник является одним из мест, пригодных для формирования мест селекции БС (рис. 1).

Общее количество бактерий в очищенных стоках неоднородно в течение года (рис. 4). Летом их число выше, чем зимой. Видовой состав также меняется сезонно, но исследовать подобную неоднородность позволяют только новейшие биологические методы, появившиеся в последние годы.

Селекция бактериальных сообществ в водной урбозкосистеме и экомониторинг

В данной работе мы продемонстрировали бактериальное единство водной среды города: БС водоисточника с БС ЖКТ горожан, ЖКТ горожан с АИ сооружений очистки, БС АИ с сообществом водоприемника, и, наконец, замыкая цепочку, БС водоприемника с БС водоисточника. Многие пока нуждаются в тщательном изучении, которое позволит качественно улучшить и удешевить процесс водоподготовки. Используя новейшие биологические методы, уже сейчас возможно продвинуться в этом научном направлении.

Практические перспективы указанного научного направления, как нам представляется, очевидны.

На рис. 1 отмечены подсистемы, где уже осуществляется селекция БС. Единственная из приведенных подсистем, где селекция осуществляется целенаправленно (а не стихийно), — очистное сооружение бытовых



Рис. 4. Сезонная динамика содержания гетеротрофных бактерий в биологически очищенных стоках (без обеззараживания).

стоков. Технические решения по осуществлению целенаправленной селекции гидробионтов в водосточниках и водоприемниках (реках, водохранилищах) уже разработаны. Это, так называемые, биоплато и другие фито-очистные системы (системы с обязательным присутствием водных растений). Их все шире применяют для очистки природных водоемов. Представляется, что и в других водных подсистемах города такая селекция осуществима. Например, в коллекторной сети города, где сточные воды находятся от нескольких часов до суток.

В качестве агента очистки воды все чаще используются бактериальные препараты. С учетом целостности, а иногда и частичной замкнутости бактериальной системы мегаполиса структура наиболее эффективных (для очистки воды) бакпрепаратов должна подбираться специфично для каждой географической зоны.

Используя введенное С.Н.Строгановым понятие «физиология города», подход к производственному мониторингу очистных сооружений, принципиально меняется. Например, малоизвестно, что по концентрации метаболитов этилового спирта (этилсульфата), содержащихся в поступающих на очистку сточных водах, определяется количество спиртного, выпитого в городе [37]. Изучая сточные воды как продукт «физиологии города», можно разработать биологические критерии, характеризующие: питание жителей (например, удельное содержание консервантов в продуктах), состояние коллекторной сети (по соотношению аэробных/ анаэробных организмов или по наличию в стоках специфических для почв бактерий), т.п.

Заключение

Подсистемы водной среды мегаполиса оказывают взаимное влияние друг на друга посредством обмена бактериальными сообществами. Показано, что сходство родового состава бактерий ЖКТ жителей и бактериального сообщества, осуществляющего очистку стоков (АИ), составляет около 70%.

Биологическая очистка стоков основана на селекции БС, которая целенаправленно осуществляется на очистных сооружениях. Новейшие биологические методы (масс-спектрометрия, секвенирование нового поколения, метод ПЦР) позволяют подробно исследовать особенности различных БС мегаполиса для того, чтобы осуществлять их направленную селекцию для более эффективной и менее энергозатратной очистки водной среды. Подсистемы, наиболее подходящие для осуществления подобной селекции: коллекторная сеть города, очистные сооружения, искусственно созданные экотопы в водосточниках и водоприемниках.

Литература

1. Michael Saunders F. Climate change and management of water recycling & reclamation systems / *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions* // OP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2009. Vol.6. P.1755–1307.
2. Haw Cheng NG. Water Treatment in Singapore/ *Water Treatment & Wastewater Recycling. Systems in Singapore*. 22 February 2010. Электронный ресурс: <http://www.globaltrade.net>.
3. Строганов С. Н. Питание Москвы в 1903–1922 г.г. по наблюдениям над сточной жидкостью. М.: Тип. М. К. Х., 1923. 32 с.
4. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. М.: Мир, 2004. 480 с.
5. Grunditz C. Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* / Grunditz, C. & Dalhammar, G. // *Water Research*. 2001. Vol.35. P. 433–440.
6. Third, K.A. The CANON System (Completely Autotrophic Nitrogen-removal Over Nitrite) under Ammonium Limitation: Interaction and Competition between Three Groups of Bacteria / Third, K.A., Sliemers, O., Kuenen, J.G. & Jetten, M.S.M. // *System & Applied Microbiology*. 2001. Vol. 24, P.588–596.
7. Степанов С. В. Исследование технологии нитри-денитрификации для очистки нефтесодержащих сточных вод / Степанов С. В., Швецов В. Н., Морозова К. М., Беляков А. В., Блинкова Л. А. // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2013. № 5. С. 50–56
8. Janssen P.M.J. Biological Phosphorus Removal / Janssen P.M.J., Meinema K., van der Roest H.F. // *Manual for design and operation*. IWA Publishing. 2002. 210 p.
9. Elder D.J.E. The bacterial degradation of benzoic and benzenoid compounds under anaerobic conditions: Unifying trends and new perspectives / Elder D.J.E., D.J. Kelly. // *Microbiology Reviews*. 1994. Vol.13. P.441–468.
10. Ficker M. Molecular Characterization of a Toluene-Degrading Methanogenic Consortium / Ficker M., Krastel K., Orlicky St., Edwards E. // *Applied and Environmental microbiology*. 1999. Vol. 65. № 12. P.5576–5585.
11. Kleerebezem R. The role of benzoate in anaerobic degradation of terephthalate / Kleerebezem R., Look W. Hulshoff Pol, Gatzke Lettinga // *Applied and Environmental microbiology*. 1999. Vol.65. № 3. P.1161–1167
12. Ansorge WJ. Next-generation DNA sequencing techniques // *New Biotechnol*. 2009 Vol.25 № 4. P.195–203.
13. Metzker M. Sequencing technologies – the next generation // *Nature Reviews Genetics* 2010. Vol.11. P. 31–46.
14. Leung Yuk Fai Fundamentals of cDNA microarray data analysis / Leung Yuk Fai, Cavalieri Duccio // *TRENDS in Genetics*. 2003. Vol.19. № .11. P. 649–659.
15. Shalon D. A DNA microarray system for analyzing complex DNA samples using two-color fluorescent probe hybridization / Shalon D, Smith S.J., Brown P.O. // *Genome Res*. 1996. Vol.6. № 7. P.639–645

16. Gillevet P. Quantitative assessment of the human gut microbiome using multitag pyrosequencing / Gillevet, P., Sikaroodi, M., Keshavarzian, A., Mutlu, E. // *Chemistry & biodiversity*. 2010. Vol. 7. № 5. P. 1065–1075.
17. Guarner F. Gut flora in health and disease / Guarner F., Malagelada J.R. // *Lancet*. 2003. Vol. 360. № 8. P. 512–519.
18. Neish A.S. Microbes in gastrointestinal health and disease // *Gastroenterology*. 2009. Vol. 136. P. 65–80.
19. Qin J. A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing / Qin J., Li R., Raes J., Arumugam M., Burgdorf K. // *Nature*. 2010. № 4. P. 59–65.
20. Arumugam M. Enterotypes of the human gut microbiome. / Arumugam M., Harrington E.D., Foerstner K.U., Raes J., Bork P. // *Nature*. 2011. Vol. 473. № 12. P. 174–80.
21. Wu G.D. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes / Wu G.D., Chen J., Hoffmann C., Bittinger K., Chen Y.Y. // *Science*. 2011. № 7. P. 105–108.
22. Yatsunenko T. Human gut microbiome viewed across age and geography / Yatsunenko T., Rey F.E., Manary M.J., Trehan I. // *Nature*. 2012. № 14. P. 222–227.
23. Young-Do Nam. Comparative analysis of Korean human gut microbiota by barcoded pyrosequencing / Young-Do Nam, Mi-Ja Jung, Seong Woon Roh, Min-Soo // 2011. Электронный ресурс: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0022109>.
24. Hehemann J-H. Transfer of carbohydrate-active enzymes from marine bacteria to Japanese gut microbiota / Hehemann J-H., Correc G., Barbeyron T., Helbert W., Czjzek M., Gurvan M. // *Nature*. 2010. Vol. 464. P. 908–912.
25. Щеголькова Н.М. Влияние города на формирование экологического состояния реки Москвы (исторический аспект) // *Водные ресурсы*. 2007. Т. 34. № 2. С. 238–248.
26. Yu K. Metagenomic and metatranscriptomic analysis of microbial community structure and gene expression of activated sludge / Yu K., Zhang T. // *PLoS One*. 2012. Электронный ресурс: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0038183>.
27. Щеголькова Н.М. Роль московских очистных сооружений в самоочищении р.Москвы по азоту / Щеголькова Н.М., Козлов М.Н., Данилович Д.А., Мойжес О.В. // *Экология и промышленность России*. 2007. № 3. С.40–43.
28. Щеголькова Н.М. Охрана загрязненной реки: интенсификация самоочищения и оптимизация водоотведения / Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В. М.: РАСХН.2011. — 388 с.
29. Her J.J. Influences of carbon source and C/N ratio on nitrate/ nitritedenitrification and carbon breakthrough / Her J.J., Huang J.S. // *Biores. Technol*. 1995. Vol. 54. № 1. P. 45–51.
30. Casella S. Potential of denitrifiers for soil environment protection / Casella S., Payne W.J. // *FEMS Microbiol. Lett*. 1996. Vol. 140. № 1. P. 1–8.
31. Manuel Clarens Effects of nitrogen oxides and denitrification by *Pseudomonas stutzeri* on acetotrophic methanogenesis by *Methanosarcina mazei* / Manuel Clarens, Nicolas Bernet, Jean-Philippe Delgenès, René Moletta // *FEMS Microbiology Ecology*. 1998. Vol. 25, P.271–276.
32. Liu S.M.. Influence of redox potential on the anaerobic biotransformation of N-heterocyclic compounds in anoxic freshwater sediments / Liu S.M., Jones W.J., Rogers J.E. // *Abstr. Gen. Meet. Am. Soc. Microbiol*. 1993. Vol. 93. P. 368.
33. Tenuta M. Denitrification following herbicide application to a grass sward / Tenuta M., Beauchamp E.G. // *Can. J. Soil Sci*. 1996. Vol. 76. № 1. P. 15–22.
34. Kibret Mulugeta Characterization of a phenol degrading mixed population by enzyme assay / Kibret Mulugeta, Somitsch Walter, Robra Karl-Heinz // *Water Res*. 2000. Vol. 34. № 4. P. 1127–1134.
35. Щеголькова Н.М. Тонкая настройка экосистемы реки в экстремальных условиях // Сб. докладов Международной конференции «Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях». М., 2008. С. 345–346.
36. Щеголькова Н.М. Роль селекции бактериоценозов в самоочищении реки мегаполиса от азота // Материалы Международной научной конференции «Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем». Ростов-на-Дону. 2006. С. 484–488.
37. Козлов М. Надежный биомаркер. Определение потребления алкоголя в Москве по результатам анализа специфических метаболитов в сточной жидкости / Козлов М., Кевбрина М., Щеголькова Н., Аксенов А. // *ВодаMagazine*. 2013. № 3. С.22–25.

N.M. Shchegolkova, M.A. Pertseva

STUDY AND REGULATION OF A CITY HYDROSPHERE: NEW APPROACHES

An analysis of bacterial composition of a city hydrosphere was carried out. The research material was data of a long-time monitoring of waste water influent into treatment facilities and purified. New information about studies of an activated sludge metagenom and other city environment was analyzed. A cross impact of city hydrosphere subsystems due to exchange of bacterial communities was revealed. The most relevant subsystems for bacterial community selection such as a collection network, treatment facilities and artificially made ecotopes were recommended.

Key words: metagenom, activated sludge, waste water, water system of city, urbo-metabolism