

Рис. 7 – Графіки зміни ефекту очищення води Ψ від завислих речовин на комбінованій установці при зміні швидкості води v при:
 1 – $C_0 = 80 \text{ мг/дм}^3$; 2 – $C_0 = 300 \text{ мг/дм}^3$.

Отримано 19.09.2002

УДК 628.54

Н.И.КУЛИКОВ, д-р техн. наук

Донбаская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка

И.Д.ПАСТУШКОВА

Луганский политехнический колледж

СГУЩЕНИЕ ОСАДКОВ ПРОМЫВНЫХ ВОД СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ ВОДОПРОВОДНОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

Теоретическим анализом состава подземных вод и механизма процессов взаимодействия компонентов состава воды в системе сооружений по очистке воды дано обоснование способа и конструкции сооружения для сгущения промывных вод скорых фильтров водопроводной очистной станции (ВОС). Лабораторными исследованиями электрокинетических свойств взвесей суспензии промывных вод, а также характеристик потенциала протекания полимерных волокон ершей, показана возможность использования последних в комбинированном сооружении открытого гидроциклона с ершовым фильтром.

Промывные воды водопроводных очистных станций (ВОС) г.Сургута содержат в составе примеси подземных вод, а так же фильтрующую загрузку, покрытую отложениями из примесей. Среди основных примесей подземных вод наиболее существенными являются: железо двухвалентное в количестве 3-8 мг/л; фосфаты 3-6 мг/л; свободная углекислота – 2,1-2,4; мг/л; нефтепродукты 0,03-0,01 мг/л; величина рН подземных вод колеблется в пределах 6,3-6,8.

В процессе упрощенной азрации в дегазаторах с деревянной или пластмассовой насадкой в воду вносится кислород воздуха, удаляется из воды углекислота, увеличивается величина рН до 7,2-7,4 под дейст-

вием железобактерий двухвалентное железо окисляется до трехвалентного.

Ввиду того, что растворимость в воде фосфата железа (FePO_4) существенно ниже растворимости гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (на три порядка), то большая часть трехвалентного железа связывается с фосфатом и дает прочный осадок на всех твердых поверхностях, в том числе и на песчаной загрузке фильтров, трубопроводах, запорно-регулирующей арматуре. Это общеизвестный факт, используемый практикой для пассивации железных поверхностей и именно в том интервале величин pH среды, которая характерна для подземных вод Западной Сибири. Фосфат железа имеет отрицательный заряд частиц, скоагулировать которые можно лишь добавкой положительно заряженных коагулянтов, либо сфлокулировав внесением катионактивных флокулянтов.

Безреагентное сгущение отрицательно заряженных частиц фосфата железа возможно в поле воздействия развитой положительно заряженной поверхности.

Среди многочисленных водопроводных очистных станций Западной Сибири, использующих подземные железосодержащие воды, наилучшие результаты по качеству питьевой воды получены в г. Сургуте. Большую часть года жители города пьют воду, практически соответствующую нормативным требованиям. Но какой ценой достигается это качество. До 20% всей забираемой скважинами с глубины до 150 м воды сбрасывается в канализацию либо с фильтратом ненормативного качества, либо с промывными водами.

Достаточно ответственные, умудренные опытом длительной эксплуатации фильтровальных станций, работники водопроводно-канализационного хозяйства г.Сургута зачастую ничего не могут сделать, чтобы ускорить процесс вывода фильтров на нормативный режим работы, и вынуждены сбрасывать фильтрат в канализацию. Но совершенно безнадежна ситуация с повторным использованием промывных вод от скорых фильтров. А причина всех бед эксплуатационников одна – наличие в подземных водах фосфатов.

Механизм мешающего влияния фосфатов следующий. После внесения в воду в дегазаторах кислорода имеющиеся на насадке дегазаторов железобактерии начинают процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное состояние. Образующееся на клеточной мембране трехвалентное железо немедленно взаимодействует с ионами ортофосфата $[\text{PO}_4^{3-}]$ с образованием мелкодисперсного нерастворимого в воде фосфата железа. Если железобактерии находятся на песчаной или любой другой загрузке фильтров, то постепенно фосфат железа

покрывает и песчинки, и бактериальные клетки. Создаются непромываемые водой комья, в которых закупоренной оказывается бактериальная белковая масса. Вследствие дыхания микроорганизмов и отсутствия массообмена с фильтруемой водой в комьях создаются анаэробные условия, белок бактерий загнивает. В восстановительной среде не протекает окисление железа, и эффект его удаления из воды в фильтрах снижается.

При водо-воздушной промывке песчаных фильтров часть комьев разрушается, и в промывную воду уходят и измельченные песчинки, и фосфат железа, и бактериальные клетки, и некоторое количество гидроокиси трехвалентного железа. По данным химических анализов, выполненных лицензированной лабораторией СГМУП «Горводоканал», в составе взвешенных веществ осадка, после его сгущения и высушивания при 105 °С, находится до 60% по весу фосфата железа, 20% органических веществ белкового характера, 10% песка и 10% гидроокиси железа.

Большая часть взвешенных веществ имеет отрицательный электрокинетический потенциал. Измерения, выполненные на ячейке по определению дзета-потенциала взвесей промывной воды, дали значение электрокинетического потенциала в интервале величин – (18,3-42,9) мв со средним значением – 30,6 мв.

Для выбора материала загрузки с развитой поверхностью, способной обеспечить сгущение взвешенных веществ промывной воды, были выполнены исследования. Основным методом оценки заряда поверхности фильтрующей загрузки является определение величины ее дзета-потенциала при движении относительно изучаемой поверхности воды. Оценивали потенциал протекания капронового (полиамидного) и лавсанового (полиэфирного) волокон. Величину дзета-потенциала [1-8] рассчитывали по результатам измерения потенциала протекания с использованием цифрового комбинированного прибора Щ-4310 и лабораторной установки (рис.1). Удельную электропроводность воды измеряли кондуктометром (Ж 102/1). В состав лабораторной установки входили маностат; с помощью которого создавалось давление; камера с диафрагмой и электрическая схема для измерения потенциала протекания (хлорсеребряные электроды и потенциометр). В качестве проточной ячейки использовали колонку из оргстекла. Измерительная ячейка заполнялась волокном и термостатировалась за счет смывания ее снаружи исследуемой жидкостью. Первоначально, после заполнения системы водой так, чтобы в ней не было пузырьков воздуха, измеряли разность потенциалов (E_0) между электродами без добавления воды, т.е. потенциал асимметрии. Затем измеряли разность

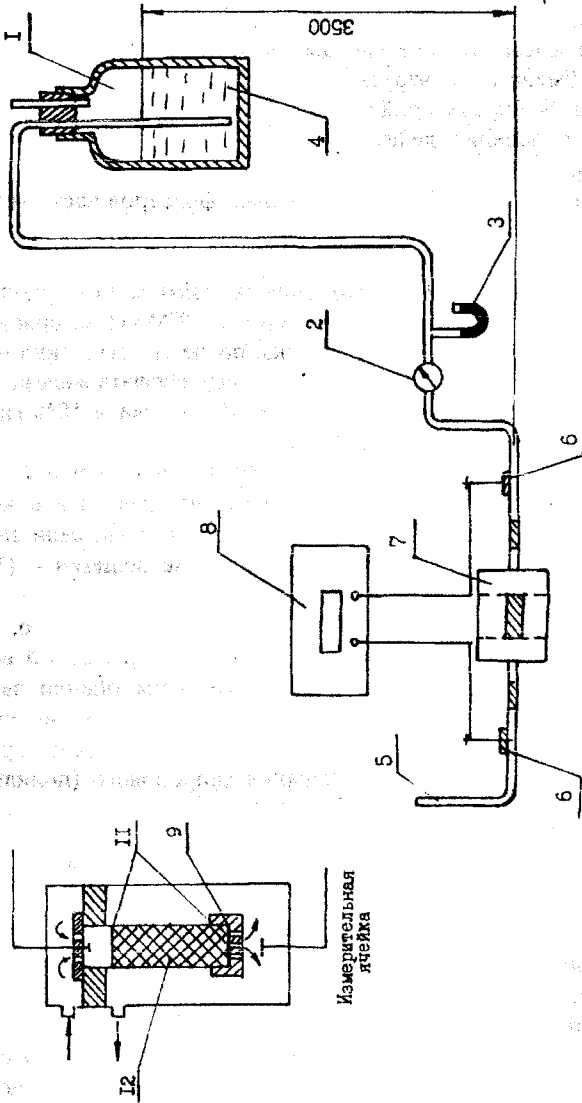


Рис.1 - Схема для определения потенциала протекания:

- 1 - маностат; 2 - краны; 3 - ртутный манометр; 4 - исследуемая жидкость; 5 - трубы; 6 - хлорсернистая кислота; 7 - манометр; 8 - крышка камеры; 9 - крышка камеры; 10 - прокладка; 11 - фильтр; 12 - камера (измерительная ячейка); 12 - исследуемый материал.

потенциалов (E_1) при наложенном давлении и различной скорости движения воды через ячейку. Для определения знака заряда поверхности по знакам контактов на потенциометре устанавливали знак заряда электрода, расположенного до диафрагмы (по направлению действия давления), который совпадает со знаком заряда диафрагмы. После этого отключали маностат, сбрасывали давление из системы и вновь измеряли величину E_0 . Потенциал протекания E вычисляли как разность $E_1 - E_0$. Если значение E_0 несколько изменялось, то для расчета брали величину E_0 , измеренную сразу после снятия давления. По опытным данным находили отношение потенциала протекания к перепаду давлений E/P . Результаты вычислений и данные экспериментальных замеров сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные по измерению потенциала протекания загрузки из полимерного волокна

№ п/п	Давление, р, Па	$-E_{1\text{ ср. мв}}$	$-E_{0\text{ ср. мв}}$	$E = E_{1\text{ ср. мв}} - E_{0\text{ ср. мв}}$	$E/P, \text{ мВ/Па}$	$\xi, \text{ мВ}$
4	$0,343 \cdot 10^5$	203,8	218,3	+14,5	$4,23 \cdot 10^{-4}$	+17,3
7	$0,343 \cdot 10^5$	241,9	250	+8,1	$2,36 \cdot 10^{-4}$	+43,2
9	$0,343 \cdot 10^5$	256,6	259,1	+2,5	$0,7 \cdot 10^{-4}$	+13,3
11	$0,343 \cdot 10^5$	179,1	190,7	+11,6	$3,38 \cdot 10^{-4}$	+61,8
14	$0,343 \cdot 10^5$	229,6	232,4	+ 2,8	$0,816 \cdot 10^{-4}$	+14,9
18	$0,343 \cdot 10^5$	267,4	273,8	+ 6,4	$1,87 \cdot 10^{-4}$	+34,1
19	$0,343 \cdot 10^5$	203,8	224,8	+21,0	$6,12 \cdot 10^{-4}$	+112,0
20	$0,343 \cdot 10^5$	329,5	334,1	+4,6	$1,34 \cdot 10^{-4}$	+24,5

Средняя измеренная величина ξ -потенциала +47,6 мВ при скорости потока 200 м/ч.

Примечание: $E_{1\text{ ср}}$ и $E_{0\text{ ср}}$ – средние значения потенциала выводились как результат 10 величин показаний прибора.

Расчет дзета-потенциала производился с использованием формулы Гельмгольца-Смолуховского без учета поверхностной проводимости:

$$\xi = \frac{\eta_e \times \alpha \times E}{E \times E_0 \times P},$$

где ξ – дзета-потенциал, мВ; η_e – вязкость, Па·с; α – удельная электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$; E – потенциал протекания; P – давление, Па; E – диэлектрическая проницаемость; E_0 – электрическая константа.

Удельная электропроводность по замерам составила:

$$\alpha = 1,323 \times 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1} = 1,323 \times 10^{-5} \text{ ом}^{-1} \text{ м}^{-1}.$$

Для сравнения в табл.2 приведены данные различных авторов о величине дзета-потенциала наиболее распространенных фильтровальных материалов [4-8].

Таблица 2 – Значения электрических потенциалов различных фильтрующих материалов

№ п/п	Наименование фильтрующего материала	Дзета-потенциал, мВ	Литературный источник
1	Кварцевый песок	-41,4	[5]
2	Горелая порода	-8,5	[4]
3	Вулканические шлаки	-8,4	[5]
4	Дробленый керамзит	-38,6	[5]
5	Пенополиуретан ППУ-45	-1,8	[8]
6	Волокно полимерное, 15 мкм, при скорости протекания 200 м/ч	+46,7	Исследования автора
7	Аглопорит	-20,7	[6]

Как следует из табл.2, только химволокно обладает положительным дзета-потенциалом, в то время как частицы взвесей заряжены отрицательно. Следовательно, использованием капронового или лавсанового волокон в качестве фильтрующего материала в сооружениях по сгущению осадков промывной воды можно обеспечить высокую эффективность разделения взвесей и промывной воды и получить осадок с низкой влажностью.

Большое влияние на величину потенциала протекания оказывала скорость движения воды относительно волокон. На рис.2 приведены графики зависимости величин потенциала протекания от скорости омывания волокон водой.

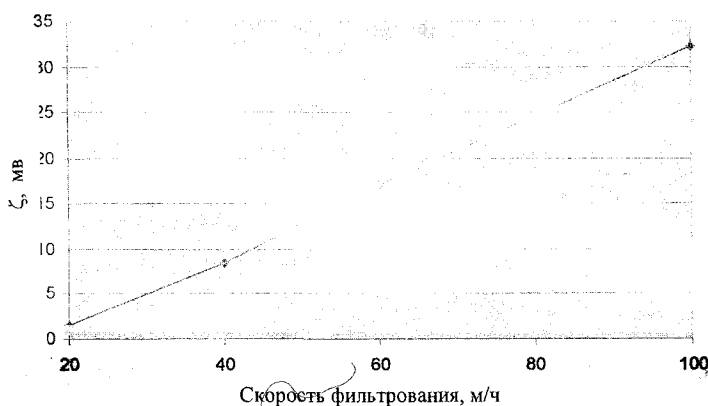


Рис.2 – Зависимость потенциала протекания волокнистых насадок от скорости фильтрации: 1 – полиэфирное волокно; 2 – полиамидное волокно.

Из графиков следует, что для получения эффекта взаимодействия отрицательно заряженных частиц взвесей с положительно заряженными волокнами ершовой насадки, обеспечивающими нейтрализацию зарядов и, как следствие, условия для сгущения суспензии, необходимо обеспечить скорость движения воды относительно волокон не менее 50-100 м/ч.

Наиболее удобным сооружением для создания оптимальных условий сгущения суспензии промывных вод является комбинированное сооружение открытого гидроциклона и фильтра с ершовой насадкой (рис.3).

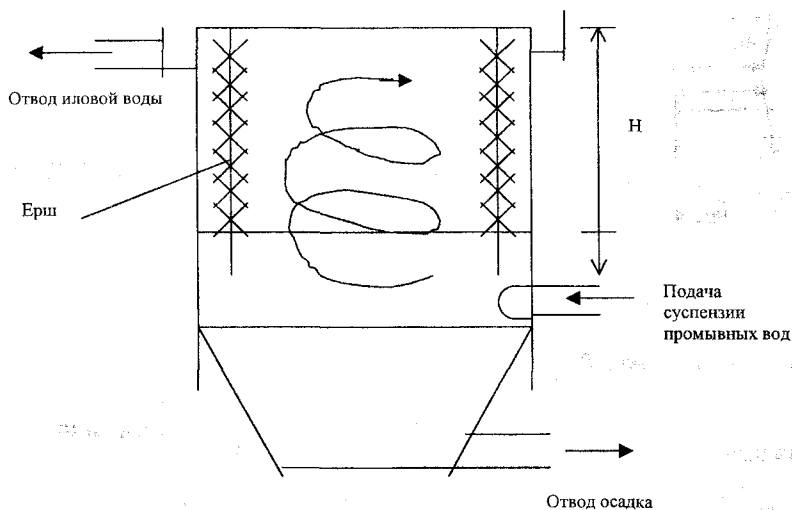


Рис.3 – Комбинированное сооружение открытого гидроциклона и скорого ершовой фильтра

Скорость восходящего потока жидкости в скорых фильтрах не превышает 10 м/ч, поэтому требуемую скорость можно получить за счет вращения всего объема жидкости в комбинированном сооружении вокруг центральной оси цилиндрической части устройства. На рис.4 приведены эпюры тангенциальных скоростей в открытом гидроциклоне [9].

При ламинарном режиме движения воды скорость центробежно-го движения частиц для диаметра гидроциклона D и радиуса r равна:

$$V_{ц} = 0,06 \times \frac{D^2 \times I \times (\rho_1 - \rho)}{\mu},$$

где I – центробежное ускорение, равно $I = \omega^2 \times r$; ω – угловая скорость вращения воды; $V = 2 \times \pi \times r$; μ – динамическая вязкость воды; n – число оборотов воды в единицу времени.

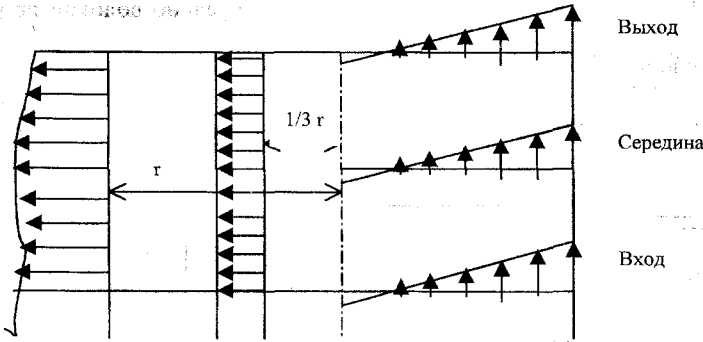


Рис. 4 – Эпюры тангенсальных скоростей в открытом гидроциклоне

Если ρ и ρ_1 близки по величине, то центробежные усилия не дают существенного эффекта расслоения суспензии. Обеспечить расслоение суспензии можно только фильтрованием ее через заряженную ершовую загрузку. Для проверки справедливости принятого решения можно воспользоваться моделью открытого гидроциклона.

Для моделирования производственного открытого гидроциклона используем критерий Фруда:

$$F_r = V_{вх}^2 / gl,$$

где $V_{вх}$ – скорость движения воды во входном патрубке открытого гидроциклона, м/с; l – длина траектории частицы в открытом гидроциклоне.

Из условия $F_{rм} = F_{rр}$ для геометрически подобных устройств с масштабом моделирования $\lambda = D_p / D_m$.

Определяем следующие соотношения между параметрами рабочих («р») и модельных («м») открытых гидроциклонов:

$$V_{вхр} = V_{вхм} \times \sqrt{\lambda}, \quad M_p = \mu_m \times \sqrt{\lambda}, \quad C_{исх.р} = C_{исх.м} \times \sqrt{\lambda}.$$

$$\text{Если } \lambda = \frac{9м}{1м} = 9, \text{ то } \sqrt{\lambda} = 3, \quad V_{вх.м} = \frac{1 \text{ м/с}}{3} = 0,33 \text{ м/с},$$

$$C_{исх.м} = \frac{1500 \text{ г/м}^3}{3} = 500 \text{ г/м}^3, \quad \mu_m = \frac{M_p}{3},$$

$$F_{rp} = \frac{1^2 \text{ м}^2/\text{с}^2}{10 \text{ м/с}^2 \times \pi \times D \times P} = 0,0035,$$

$$F_{гм} = \frac{0,33^2}{10 \times 3,14 \times 1} = \frac{0,1089}{10 \times 3,14} = 0,0035, \text{ динамическая вязкость } \mu_p$$

воды с температурой $4^\circ\text{C} = 1,57 \times 10^{-3}, \text{ Па} \times \text{с},$

$$\mu_m^t = 0,523 \times 10^{-3} \text{ Па} \times \text{с}, \quad t = 50^\circ\text{C} [10].$$

Температура промывных вод в г.Сургуте не превышает 4°C , поэтому для достижения подобия по критерию Фруда эксперименты на модели необходимо проводить с температурой воды 50°C [10].

Раскручивание жидкости внутри гидроциклона до скорости $V_r = 100 \text{ м/ч}$ для $r^i = 0,5 \text{ м}$ осуществляем за счет механической мешалки, помещенной напротив входного патрубка промывной воды по оси модели открытого гидроциклона.

При $V = 2 \times \pi \times n \times r = 100 \text{ м/ч}$

$$n = \frac{100}{2\pi \times r} = \frac{100}{2\pi \times D_m} = 31,85 \text{ об/ч} = 0,5 \text{ об/мин.}$$

Высота ершевой насадки должна составлять $0,3 \text{ м}$. Поскольку

$$Q_m = \frac{1}{243} \times D_p^2 \times \frac{\pi}{4} \times V_p = \frac{Q_p}{243}, \text{ т.е. при таком расходе энергии пото-$$

ка поступающей со скоростью $0,3 \text{ м/с}$ суспензии недостаточно для достижения скорости омывания ершей $50-100 \text{ м/ч}$.

Эксперименты на модели должны дать ответ о возможности использования комбинированного сооружения для достижения поставленной цели – сгущения суспензии промывных вод фильтров очистки подземных железо- и фосфорсодержащих вод Западной Сибири.

Другим вариантом проверки возможности комбинированного сооружения по сгущению суспензии промывных вод является изготовление искусственного устройства, являющегося вырезом объемного элемента из цилиндра фильтра типа элементарной струйки. Этот элемент должен содержать три отсека: отсек распределения сточных вод по площади, перпендикулярной к направлению движения фильтруемой суспензии в объемном элементе, отсек фильтрации и отсек схода фильтра. Площадь поперечного сечения этого элемента («элемен-

тарной струйки») предполагается принять равной 4 дм^2 , чтобы снизить влияние пристенных эффектов. Длину элемента необходимо принять равной 2 м, поскольку желательно получить фиксируемый эффект сгущения. Отсеки входа и выхода предполагается выполнить длиной 0,2 м и снабдить перфорированной перегородкой.

1. Григоров О.Н., Козьмина З.П., Маркович А.В., Фридрихсберг Д.А. Электрокинетические свойства капиллярных систем. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956.

2. Григоров О.Н. Электрокинетические явления. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1973. – 47 с.

3. Козьмина З.П., Кожина Н.И. и др. Исследование зависимости электрокинетического потенциала окиси алюминия от условий ее получения «Электроповерхностные явления в дисперсных системах». – М.: Наука, 1972. – С. 220-228.

4. Фоминых А.М., Санников В.А. Электрокинетические свойства нового фильтрующего материала // Коллоидный журнал. – 1972. – 34, №3. – С. 474 – 476.

5. Оводов В.С., Чудновский С.М. Вопросы исследования электрокинетической характеристики мутных вод // Труды НИМИ. Т.12, вып.5. – Новочеркасск, 1970.

6. Ярошевская Н.В. Исследование зернистых материалов и влияние их свойств на процессе очистки воды фильтрованием: Автореф. канд. дис. – К., 1980. – 20 с.

7. Кульский Л.А., Ярошевская Н.В. Влияние ξ -потенциала зернистой фильтрующей загрузки на ее задерживающую способность // Химия и технология воды. Т.2. – 1980. – №1. – С. 46-49.

8. Лавриненко К.И. Исследование фильтров с пенополиуретановой загрузкой для доочистки биохимически очищенных сточных вод: Автореф. канд. дис. – Харьков, 1978. – 22 с.

9. Куликов Н.И. и др. Теоретические основы очистки воды: Уч. пособие. – Макеевка: ДГАСА, 1999. – С. 40 – 50.

10. Альтшуль А.Д., Кисилев П.Г. Гидравлика и аэродинамика: Уч. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1975. – С.13.

Получено 23.09.2002

УДК 576.8.620 : 193.81

И.В.КОРИНЬКО, канд. техн. наук

ГКП "Харьковкоммуночиствод"

В.А.ЮРЧЕНКО, канд. техн. наук

УГНИИ УкрВОДГЕО, г.Харьков

АЭРОБНЫЙ ХЕМОСИНТЕЗ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПОДГОТОВКИ, ОТВЕДЕНИЯ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрены экологически значимые процессы аэробного хемосинтеза в сооружениях водоподготовки, водоотведения и очистки сточных вод. Отмечена масштабность автотрофных микробиологических превращений серы и азота в этих объектах техносферы. Разработаны основные принципы управления аэробным хемосинтезом и конкретные методы оперативного контроля отдельных реакций.