

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ



Материалы международной научно-практической конференции,  
приуроченной к 130-летию кафедры водопользования и экологии

5–7 декабря 2018 года

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ, 2018

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный,  
архитектурно-строительный университет

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Материалы международной научно-практической конференции,  
приуроченной к 130-летию кафедры водопользования и экологии

5–7 декабря 2018 года

Санкт-Петербург  
2018

УДК 628.1:628.2:628.3:502.1

**Современные проблемы водоснабжения и водоотведения:** Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 130-летию кафедры водопользования и экологии; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 131 с.

ISBN 978-5-9227-0866-1

В сборнике представлены статьи участников международной научно-практической конференции, приуроченной к 130-летию кафедры водопользования и экологии.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор-консультант СПбГАСУ Ю. А. Феофанов (председатель),  
д-р техн. наук, профессор-консультант СПбГАСУ В. М. Васильев,  
д-р техн. наук, профессор СПбГАСУ А. Н. Ким,  
д-р техн. наук, профессор-консультант СПбГАСУ Л. И. Цветкова,  
PhD, профессор Краковской горно-металлургической академии Е. Неверова-Дзиопак,  
д-р техн. наук, профессор Брестского государственного технического университета  
Н. П. Яловая,  
канд. техн. наук, доцент СПбГАСУ А. В. Кудрявцев (ответственный редактор)

ISBN 978-5-9227-0866-1

© Коллектив авторов, 2018  
© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2018

О. Н. Медведева, М. Р. Муракаев

УДК 628.32

*Оксана Николаевна Медведева,*  
д-р техн. наук, доцент  
*Марсель Ринатович Муракаев,*  
студент магистратуры  
(Саратовский государственный  
технический университет  
имени Гагарина Ю.А.)  
*E-mail: medvedeva-on@mail.ru*

*Oksana Nikolaevna Medvedeva,*  
Dr of Tech. Sci., Associate Professor  
*Marsel Rinatovich Murakaev,*  
student  
(Yuri Gagarin State  
Technical University  
of Saratov)  
*E-mail: medvedeva-on@mail.ru*

## ОЧИСТКА ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

### USE OF HYDRODYNAMIC CAVITATION IN WATER TREATMENT

Снижение поступления токсичных веществ со сточными водами различных промышленных и сельскохозяйственных производств является одной из приоритетных задач в области рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Использование акустической кавитации для очистки воды и сточных вод является хорошо известным способом. Вместе с тем, использование гидродинамической кавитации (в качестве единственного метода или в сочетании с другими методами) было предложено относительно недавно. В статье представлены результаты анализа физико-химических эффектов кавитационного процесса. Предложена модель кавитатора для проведения лабораторных испытаний по очистке воды. Анализ бактериального состояния воды, пройденной через установку, позволяет сделать вывод об эффективности гидродинамической кавитации.

*Ключевые слова:* сточные воды, очистка, трубка Вентури, кавитация, кавитатор, эффективность

The decrease in the supply of toxic substances with sewage from industrial enterprises is one of the priority tasks in the field of environmental protection. The use of acoustic cavitation for the purification of water and wastewater treatment is a well-known method. However, the use of hydrodynamic cavitation as a single method or in combination with other methods such as ultrasound has only recently been suggested and employed. The analysis of the physical and chemical effects of the cavitation process are presented in this article. A model of the cavitator is proposed for carrying out laboratory tests to water purification. An analysis of the bacterial state of water after installation indicates the effectiveness of hydrodynamic cavitation.

*Keyword:* wastewater, wastewater treatment system, venturi tube, cavitation, cavitator, efficiency

Производственные сточные в зависимости от характера производственных процессов помимо растительных неорганических и органических веществ, содержат коллоидные примеси, взвешенные твердые и жидкие, грубодисперсные и мелкодисперсные примеси. Все эти примеси способны привести к засорению и разрушению канализации, являются опасными бактери-

альными загрязнителями и радиоактивными веществами, образовывать токсичные и взрывоопасные пары и газы.

На рис. 1 представлена технология очистки сточных вод, используемая в г. Саратове, после очистки сточные воды сбрасываются в Волгоградское водохранилище [1].

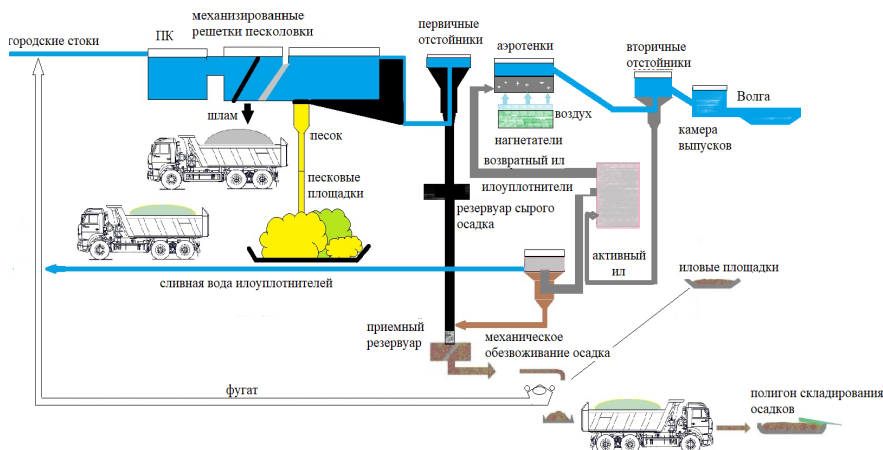


Рис. 1. Технология очистки сточных вод, применяемая в городе Саратове

Очистные сооружения канализации с полной биологической очисткой построены на базе старых сооружений механической очистки сточных вод и введены в эксплуатацию в 1981 году, при этом износ некоторых сооружений превышает 50 %. С каждым годом увеличивается концентрация загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами, а морально устаревшее и энергоёмкое оборудование не обеспечивает необходимой очистки сточных вод от загрязнений различных групп, например, на настоящий момент наблюдаются превышения нормативно-допустимых сбросов по аммонийному азоту и фосфатам. Из-за отсутствия очистных водопроводных сооружений, отсутствия зон санитарной охраны водоисточников и водопроводов, загрязнения водоисточников сточными водами и отходами, определенная часть населения получает воду ненадлежащего качества. В этой связи необходима разработка программ по улучшению водоснабжения, проведение реконструкции водопроводов, не имеющих необходимых очистных сооружений, решение вопросов очистки и обеззараживания сточных вод [1].

Правильно спроектированная система отведения стоков позволяет своевременно отводить необходимое количество сточных вод, не допуская аварийных ситуаций со сбросом стока в водные объекты, снижая при этом затраты на охрану окружающей среды и позволяя избежать катастрофического загрязнения.

Важнейшим направлением охраны природных водных объектов от загрязнения является использование различных методов очистки сточных вод до состояния, которое регламентируется нормативными требованиями к качеству очищенных сточных вод. К таким методам относятся механические, физико-химические, химические, биологические, термические и др. Выбор способа очистки определяется размером частиц примесей, их физико-химическими свойствами, концентрацией загрязненных веществ, расходом сточных вод и необходимой степенью очистки.

Очевидно, увеличение сброса загрязненных различными отходами производства сточных вод в водоемы значительно ухудшает их состояние. Так, например, предприятия легкой промышленности ежегодно сбрасывают порядка 300 миллионов кубических метров загрязненных и плохо очищенных стоков. По содержанию загрязняющих и токсичных веществ сточные воды некоторых предприятий сопоставимы с бытовыми стоками крупных городов населением 400–500 тысяч человек.

В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных научному обоснованию процессов очистки с использованием различных методов. Однако, в ряде случаев, использования только механического, химического и биологического метода недостаточно [2, 3].

Актуальным вопросом является разработка безреагентного метода обеззараживания и очистки воды, позволяющего предотвратить потерю ее полезных качеств и снизить стоимость очистки. Одним из таких способов является обеззараживание, основанное на эффекте кавитации [4–9].

Кавитация – это природный феномен, представляющий нарушение непрерывности в текущей жидкости. Как правило, кавитация наблюдается там, где давление жидкости становится ниже критического значения. В области пониженного давления растворимые в жидкости пузырьки увеличиваются в размерах. Пройдя фазу низкого давления, кавитационные пузырьки схлопываются и процесс начинает протекать со сверхзвуковой скоростью, порождая при этом мощную ударную волну. При этом внутренняя температура газа внутри этих пузырьков в момент схлопывания достигает нескольких сотен градусов. В дальнейшем следует микровзрыв (гидроудар), разрушающий отложения и обрастания на поверхности, находящейся в зоне кавитации [6, 10].

Наглядно явление кавитации можно наблюдать на устройстве, состоящем из трубы, на определенном участке которой вставлена трубка Вентури (рис. 2). Вода по трубе движется в направлении сечения 3-3. Изменение скорости движения потока осуществляется с помощью дроссельного устройства [10, 11].

С увеличением скорости потока в прозрачной трубке Вентури у сечения 2-2, где, в соответствии с уравнением неразрывности потока, происходит увеличение скорости и уменьшение давления, можно визуально наблюдать появление пузырьков газа в результате местного кипения. Пузырьки исчезают

ют при приближении потока к сечению 3-3. В результате от большого количества местных повышений давлений или гидроударов и возникает вибрация [10].

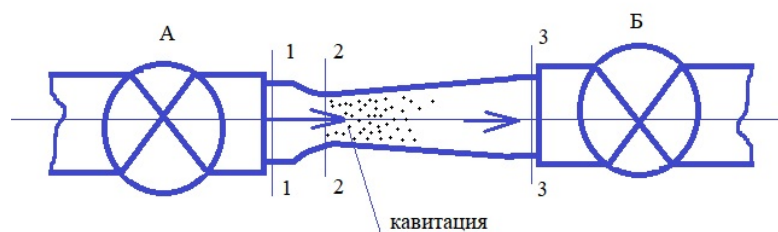


Рис. 2. Устройство для изучения процесса кавитации

В настоящее время кавитационная очистка сточных вод применяется для очистки водных бассейнов от разнообразных нефтеперерабатывающих продуктов (ультразвуковая кавитация или метод термического окисления эмульгированных нефтепродуктов), различных видов загрязнения окружающей среды, а также для обеззараживания воды с помощью гидродинамической (или гидроволновой) кавитации и во многих других сферах деятельности. Принцип гидродинамической обработки сточных и природных вод состоит в создании кавитационных гидроволновых колебаний в сточных водах совместно с процессами аэрации и дегазации [4–9].

Импульсы давления, возникающие в кавитационных пузырьках, обусловлены мгновенными разрывами простейших и микроорганизмов, находящихся в водной среде и подвергающихся действию ультразвука. При этом бактерицидное действие кавитации зависит от скорости потока и числа степеней возбудителей кавитации.

В ходе научно-исследовательской работы был проведен анализ существующих кавитационных установок для проведения натурных наблюдений за процессом гидродинамической кавитации.

Кавитационный эффект нашел применение в устройствах для обработки топлива и выделения из его состава тяжелых фракций. Для этого непосредственно в кавитаторе устанавливаются еще один дополнительный фильтр. После двойной обработки топливная смесь попадает в топливную систему очищенной от ненужных примесей. В итоге удастся исключить вероятность многих поломок, увеличить продолжительность работы всей системы и повысить коэффициент полезного действия [10, 12].

Также было выяснено, что принцип кавитации используется в поливных садовых установках (рис. 3).

Было решено создать кавитационное устройство, с помощью которого возможно проводить бактериальную очистку бытовых сточных вод. Были разработаны две экспериментальные модели. Первая – из полипропиленовой



Рис. 3. Использование трубки Вентури в поливных садовых установках

трубы, зауженной путем нагревания и вытягивания. Однако, в данном образце кавитационный эффект происходил, но наблюдать его визуально не представлялось возможным, поскольку материал образца не был прозрачным. Вторая установка была выполнена из стеклянной трубки меньшего диаметра, что позволило детально исследовать процесс возникновения кавитации. Результат очистки оценивали по таким показателям как: pH среды, концентрация взвешенных веществ, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, общая жесткость, наличие ионов металлов. Анализы бактериального состояния воды до и после прохождения через трубку Вентури были различными в зависимости от качественного состава исходной очищаемой сточной воды. Вместе с тем, пройденная через экспериментальную установку сточная вода, по своим параметрам была близка к обеззараженной воде: уменьшилось содержание хлоридов – до 4 %; аммиака – до 7 %; железа – до 6 %.

## Выводы

1. Анализ литературных данных показал, что кавитационные процессы, внедренные в систему очистки сточных вод, являются перспективным направлением, позволяющим значительно интенсифицировать работу существующих технологий очистки.

2. Установлено, что процесс гидродинамической кавитации можно рассматривать как одну из ступеней очистки сточных вод.

3. Безреагентная технология обеззараживания жидкости на основе эффекта кавитации требует более детального изучения. Как показывают результаты исследований, совместное использование кавитации с другими способами очистки сточных вод позволит значительно улучшить ее качественные показатели.

4. Для усовершенствования системы водоотведения (см. рис. 1) предлагается в блок вторичных отстойников добавить кавитационную установку.

#### Литература

1. О гарантирующей организации и утверждении схем водоснабжения и водоотведения муниципального образования "Город Саратов" (с изменениями на 11 декабря 2017 года): Администрация муниципального образования "Город Саратов". Постановление от 10 июля 2014 года №1952. 400 с.
2. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1987. 454 с.
3. Будник Л. И. Проблемы экологической безопасности при эксплуатации современных производственных комплексов // Известия Академии промышленной экологии. 2006. № 3. С. 77–78.
4. Черненко А. В. Обеззараживание жидкости на основе эффекта вибрационной кавитации // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2014. Т. 1. № 1 (41). С. 88–92.
5. Алешин А. В., Долгова Е. А., Степанов А. Ю. Экспериментальное исследование обеззараживания сточных вод с применением гидродинамического кавитатора // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2014. Вып. 5. С. 210–213.
6. Федоткин И. М., Гулый И. С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. II. Киев: ОКО, 2000. 898 с.
7. Дубровская О. Г., Евстигнеев В. В., Кулагин В. А. Кондиционирование сточных вод энергетических систем и комплексов // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2011. №6. С. 665–675.
8. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing // Electronic Journal «Technical Acoustics». 2011. Vol. 9. URL: <http://www.ejta.org> (дата обращения: 12.09.2018).
9. Гимранов Ф. М., Беляев А. Н., Флегентов И. В., Суслов А. С. Гидродинамическая кавитация как метод интенсификации процесса озонирования в пищевых технологиях промышленности // Вестник Казанского технологического университета. Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. №8. С. 292–295.
10. Калищун В. И., Кедров В. С., Ласков Ю. М., Сафоно П. В. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учебник. М.: Стройиздат, 1980. 360 с.
11. Пирсол И. Кавитация. Пер. с англ. Ю. Ф. Журавлева. М.: «Мир», 1975. 95 с.
12. Могилевич Л. И., Попов В. С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. 156 с.

#### УДК 661.9

Оксана Николаевна Медведева,  
д-р техн. наук, доцент  
Сергей Дмитриевич Перевалов,  
студент магистратуры  
(Саратовский государственный  
технический университет  
имени Гагарина Ю.А.)  
E-mail: medvedeva-on@mail.ru

Oksana Nikolaevna Medvedeva,  
Dr of Tech. Sci., Associate Professor  
Sergey Dmitrievich Perevalov,  
student  
(Yuri Gagarin State  
Technical University  
of Saratov)  
E-mail: medvedeva-on@mail.ru

### РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ, ОБОРОТНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

#### MATHEMATICAL MODEL OF A BIOGAS PLANT FOR PURIFICATION NATURAL, CIRCULAR AND WASTEWATER

В статье представлены перспективы использования биогазового топлива. Разработана модель, которая позволяет по антропогенной нагрузке определять количество, конструктивные и теплоизоляционные характеристики, при расчете использована система очистки с ферментатором и реактором вертикального исполнения. Численно определен выход метана. Определены основные параметры и энергопроизводительность биогазовой установки для условий Саратовской области, показана эффективность энергосберегающих мероприятий при использовании биогазового топлива. Практическая значимость работы заключается в использовании модели при проектировании анаэробных реакторов для небольших населенных пунктов и отдаленных микрорайонов, при расчете систем подогрева анаэробных реакторов.

*Ключевые слова:* биогаз, биогазовая установка, газоснабжение, сточные воды, экономия, экология, эффективность.

The article presents perspectives of using biogas fuel. A mathematical model has been developed to calculate the amount, structural and thermal insulation characteristics of a metatenuque. The model makes it possible to determine the yield of methane from the anthropogenic load. The main parameters and energy efficiency of the biogas plant for the conditions of the Saratov region have been determined, and the calculation of the operational and energy parameters has been carried out. Energy saving indicators from the biogas plant are determined.

*Keywords:* biogas, biogas plant, gas supply, wastewater, economy, ecology, efficiency.

В настоящее время в связи с удорожанием добычи органического топлива в большинстве стран разрабатываются альтернативные источники энергообеспечения различных категорий потребителей, как правило, базирующихся на местных энергетических ресурсах [1, 2, 3].

Для 21 века характерен процесс урбанизации – концентрирования населения в больших городах. Помимо урбанизации так же наблюдаются процессы создания агломераций из нескольких крупных городов. Создание агломераций – процесс улучшения логистических, финансовых, социальных, управленческих и прочих аспектов, а также их структуризация. Это позволяет увеличить денежный поток, эффективность управления всеми системами

мегаполисов, а также способствует увеличению качества жизни проживающих в данных образованиях. Соответственно при увеличении качества жизни происходит увеличение количества отходов жизнедеятельности. В частности, сточных и промышленных вод.

Основные объемы очищения сточных вод приходятся на аэрационные сооружения городов и поселков городского типа. За последние десятилетия значительно выросли мощности предприятий, в отличие от мощности городских очистительных сооружений. Последние перегружены, морально устарели и не обеспечивают необходимого снижения ХПК (химическое потребление кислорода) перед сбрасыванием очищенного стока в открытые водоемы.

В таблице представлен компонентный состав сточных вод по данным лабораторных исследований.

#### Суточные показатели компонентного состава сточных вод в расчете на 1 жителя

Показатели, сут	г
Взвешенные вещества	65
БПК полн неосветленной жидкости	73
БПК полн осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей	8
Фосфаты (в расчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3,3
в том числе от моющих веществ	1,6
Хлориды	9
Поверхностно-активные вещества	2,5

Как в отечественной, так и зарубежной практике широкое применение находят системы энергообеспечения предприятий и потребителей в сельской местности с использованием одного из альтернативных источников энергии – биогаза, решающего одновременно экологические и агробιοлогические проблемы. Образование биогаза происходит при переработке отходов в результате анаэробной ферментации органических веществ, при этом одновременно возможно получение эффективных удобрений [4]. Как показывает практика, данный способ энергообеспечения животноводческих предприятий обладает значительными преимуществами.

Существует три основных направления получения биогаза в значительных объемах: агропромышленный комплекс, бытовые коммунальные и сточные промышленные воды. Источником образования биогаза также выступают твердые органические отходы, ферментация органических веществ, растворенных в сточных водах, в особенности промышленных, где концентрация составляет десятки килограмм ХПК на кубический метр воды. Больше всего растворенных органических веществ есть в сточных водах всех без исключения пищевых предприятий по переработке молока, производству сахара и спирта, которые ежегодно сбрасывает свыше 1 млн. тонн ХПК. Все эти отходы, включая стоки от других пищевых производств (мясо, пиво, без-

алкогольные напитки, вино, дрожжи и др.) загрязняют поверхностные и подземные воды, а также близлежащий грунт.

Эффективность биогазовых установок зависит от выбора технологической схемы переработки биомассы, способа обогрева и термостатирования специальных емкостей, используемых для анаэробного сбраживания (метантанков). Наличие в составе биогаза вредных и балластных примесей для обеспечения функциональной и эксплуатационной безопасности требует проведения предварительной очистки газа перед использованием.

Цель работы – исследовать модели расчета ферментатора и метантенка.

Задачи исследования: провести сравнительный анализ видов анаэробных реакторов; определить факторы, влияющие на анаэробные процессы; разработать модель, определяющую по антропогенной нагрузке объем поступающего сырья для переработки, количество реакторов, их конструктивные и теплоизоляционные параметры, выход метана; разработать алгоритм расчета необходимого количества метана для подогрева субстрата с учетом тепловых потерь.

Основная цель любой энергетической установки – выработка тепловой или электрической энергии. При переработке сточных вод в биогазовой установке мы получаем тепло от теплообменника и от реакций, происходящих при анаэробном сбраживании. Важное значение при строительстве биогазового реактора играют теплоизоляционные материалы, от которых напрямую зависит себестоимость произведенного биогаза.

В качестве основного уравнения, используемого при проведении дальнейших исследований, используется уравнение теплового баланса, согласно которого при нагревании или охлаждении тела количество теплоты, поглощаемое или выделяемое им, рассчитывается по формуле:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1),$$

где  $m$  – масса тела, кг;  $(t_2 - t_1)$  – разность начальной или конечной температуры тела;  $c$  – удельная теплоемкость (Дж/кг·°С).

С точки зрения расчетов наиболее проблемным представляется запуск установки, который обычно производится в два этапа:

1. Инокулирование реактора (осуществление подачи воды без сточных вод) продолжительностью около недели.

2. Постепенное повышение нагрузки (10 % от максимальной нагрузки). При снижении содержания ЛЖК в обработанном стоке до 200÷400 г/м<sup>3</sup> нагрузку повышают на 50–100 %.

Медленный рост метаногенных организмов приводит к тому, что запуск анаэробного реактора может растянуться на долгий срок. Обычно период запуска реактора в 2÷4 раза превышает возраст ила и составляет от 30 до 60 дней. Наиболее оправданные режимы работы биогазовой установки составляют 33°С и 53°С.

Мониторинг работы реактора производится по ряду параметров:

- соблюдение постоянного температурного режима (1 градус в сутки);
- предотвращение перегрузки по органическому веществу (кг ХПК/сутки) + 50% растворенного вещества/сутки).

Для анаэробной очистки предпочтительны реакторы с полным вытеснением, например, реакторы с неподвижной загрузкой.

Для определения нагрузки, размеров, теплоизоляции и тепловых потерь реактора удобнее пользоваться специальным программным комплексом, позволяющим определить объемы реакторов по количеству проживающих в населенном пункте жителей.

Данные программы представляют из себя набор алгоритмов для автоматизированного расчета параметров метантенка вследствие чего обязательно найдут применение в проектировании.

Для расчета количества газа, который будет получен в результате анаэробной очистки сточных вод потребуются следующие исходные данные.

- для конструктивного расчета: количество жителей, школ, производственных помещений, кемпингов, коттеджей, военных городков, больниц, санаториев, гостиниц, ресторанов, часовая нагрузка квартир и частных домов, часовая нагрузка общественных помещений, площадь бассейна канализования, инфильтрацию, часовой расход, суточный расход (кДЖ/с) спирального теплообменника в секунду, мощность котельной, количество потребляемого газа;

- концентрация сточных вод, растворимые инертные вещества, растворимые вещества, инертные вещества, взвешенные вещества (эти данные можно найти в нормативной документации);

- количество реакторов очистки, соотношение высоты к радиусу, скорость гидролиза, радиус, высоту, объем, строительные материалы, теплоизоляционные материалы, толщину теплоизоляции, термическое сопротивление, площадь поверхности, максимальные теплотери;

- для расчета технологических параметров теплообменника (средняя движущая процесса, средняя низшая температура, средняя высшая температура, расход воды, коэффициент передачи стенки, теплоотдача от стенки 1, теплоотдача от стенки 2, температура стенки 1, температура стенки 2, поверхность теплообменника, длина спирали, штуцер для бутанола, штуцер для воды, число полувитков, диаметр аппарата, масса теплообменника): температура входа (1, 2); температура выхода (1, 2), расход воды, расход воды в канале, ширина канала, теплопроводность стали теплообменника, средняя температура воды, средняя температура воды, температура стенки (1, 2), поверхность теплообмена.

Наиболее важным выбором при строительстве анаэробной станции получения биогаза в процессе очистки сточных вод является выбор конструктивных особенностей метантенков, типа реакторов и материалов для

гидроизоляции. В последнее время появились новые технологии создания гидроизоляционных слоев, например, изоляция гидрогелем на основе бентонита. Гидрогель по мере набухания плотно закрывает различные поры в изолируемом материале, обеспечивая полную непроницаемость для воды. Такую гидроизоляцию можно рекомендовать к использованию при строительстве водохранилищ лагунного типа, прудов, каналов.

Проектирование анаэробных систем следует вести исходя из максимального удаления органических разлагаемых веществ. Остановить процесс такой очистки не представляется возможным из-за медленного роста метаногенов, при этом большая часть органики успевает подвергнуться гидролизу и превращается в короткоцепочечные жирные кислоты, впоследствии превращающиеся в метан.

Моделирование анаэробных биореакторов позволяет определить примерный выход биогаза, количество, размер и режим работы реакторов. Полученная энергия используется для обогрева субстрата, а также для продажи в летние месяцы в виде электроэнергии или метана, подвергнутого очистке. При очистке сточных вод предпочтительнее использовать системы анаэробного сбразивания, поскольку образование ила в данной технологии минимально. Эффективны метантенки цилиндрической формы, так как мешалка обеспечивает наибольшее перемешивание именно при использовании данной формы реактора. Биогазовые реакторы, использующие механическое перемешивание, считаются системами идеального смешения. При известном коэффициенте прироста биомассы возможно определение молярного выхода биогаза. Наиболее эффективный подогрев обеспечивает спиральный теплообменник, подогревающий субстрат, поступающий каждый час в реактор (рисунок).

Например, для переработки бытовых стоков, полученных от 1200 жителей и 12 объектов коммунально-бытового и социального характера расчетами определен к использованию реактор ферментации объемом 522 м<sup>3</sup> и два реактора ацето- и метаногенеза. В качестве утеплителя используется минеральная вата толщиной 35 см. Средняя тепловая нагрузка на теплообменник, подогревающий субстрат при входе, составит 57,34 кДж/с с учетом потерь метантенков в зимние месяцы в размере 2,5 кВт. В результате для подогрева биогазовой установки потребуется котел мощностью 62,5 кВт. Кол-во потребляемого метана в сутки составит 120 м<sup>3</sup> и порядка 260 м<sup>3</sup> газа, не используемых системой, можно перенаправить для нужд близлежащих объектов или для продажи.

В холодный период года биогаз может использоваться для работы воздухоподогревателей в системе приточной вентиляции, а также для получения горячей воды на технологические нужды с отбором из теплового контура биогазовой установки. Неиспользованная часть биогаза может частично храниться в резервуарах в сжатом состоянии для последующего использования в необходимых случаях [5].



Программный расчет нагрузки, размеров, теплоизоляции и тепловых потерь реактора

Таким образом, установки для производства биогаза являются средством ресурсо- и энергосбережения. Эффективное развитие систем энергообеспечения потребителей обуславливает необходимость разработки и внедрения ресурсоэнергосберегающих мероприятий с целью сокращения потерь энергии при ее производстве, распределении и потреблении, снижения материальных и денежных затрат в сооружение и эксплуатацию. Выбор оптимального проектного решения реализуется путем сравнения возможных вариантов по приведенным затратам [6].

### Выводы

В результате проведенного исследования были изучены процессы получения биогаза, процессы аэрации и анаэробного сбраживания сточных вод с целью очистки от вредных веществ и представлены перспективы использования биогазового топлива. Реактор для метаногенеза позволяет получать биогаз сроком до двух дней. Определены основные параметры и энергопроизводительность биогазовой установки для условий Саратовской области, показана эффективность энергосберегающих мероприятий при использовании биогазового топлива. Размеры и конструктивные особенности реакторов, тип теплоизоляции, тепловые потери, размер теплообменного аппарата и примерный расчет очищенного метана, полученного из биогаза после фильтрации, рассчитываются с использованием программного комплекса.

Анализ полученных результатов показывает, что использование биогазовой установки, например, на нужды животноводческих хозяйств позволяет сэкономить порядка 17,6 т.у.т на теплоснабжение, при этом на собственные нужды вырабатывается до 34% биогаза.

### Литература

1. Sasse L. Biogas Plants. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE in: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1988. 66 p.
2. Peter Jacob Jørgensen. Biogas – green energy. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University: Digisource Danmark A/S. 2nd edition, 2009. 36 p.
3. Subramani T., Nallathambi M. Mathematical Model for Commercial Production of Bio-Gas from Sewage Water and Kitchen Waste // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). 2012. Vol. 2. Issue.4. July-Aug. Pp. 1588–1595.
4. Орси́к Л. С., Сорокин Н. Т., Федоренко В. Ф., Буклагин Д. С. и др. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2008. 404 с.
5. Шишкин Н.А. Малые энергоэкономические комплексы и возобновляемые источники энергии. М.: Готика, 2000. 236 с.
6. Курицын Б.Н., Медведева О.Н. Техничко-экономическая оптимизация систем теплоснабжения: учебное пособие. Саратов: СГТУ, 2011. 60 с.

УДК 556.5:556.3:339:551

Шухрат Одилевич Мурадов,  
д-р техн. наук, и. о. профессора  
(Каршинский инженерно-экономический институт)  
E-mail: m.oikos@mail.ru

Shukhrat Odilovich Muradov,  
Dr of Tech. Sci. Professor  
(Karshi Engineering Economic Institute)  
E-mail: m.oikos@mail.ru

## НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОДОУСТОЙЧИВОСТИ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МИРА

### THEORETICAL-PRACTICAL BASIS OF WATER SUSTAINABILITY OF ARID AREAS

Приводится обзор международных документов и известных ученых-исследователей в оценке современных водных проблем аридных территорий Мира. На примере Центральной Азии и в частности Республики Узбекистан, как репрезентативной аридной территории, оценена водохозяйственная обстановка. С учетом Сценария устойчивого развития составлен прогноз потребности в воде до 2025 года в основных отраслях экономики. Приведены последствия неэффективного использования водных ресурсов. Уделено внимание процессам аридизации как основной фактор нерационального использования воды. Сформулировано определение водоустойчивости. Приведен перечень разработанных усовершенствованные технические решения по улучшению водообеспеченности, которые рекомендуются для идентичных аридных районов Мира

Ключевые слова: вода, водообеспеченность, водосбережение, аридизация, опустынивание, водоустойчивость.

A review of international documents and well-known scientists in the assessment of contemporary water problems in the arid areas of the World is given. On the example as Central Asia and in particular the Republic of Uzbekistan, as a representative arid territory, the water management situation was assessed. Considering the sustainable development Scenario, a forecast of water demand up to 2025 in the main sectors of the economy was compiled. The consequences of inefficient use of water resources are presented. Attention is paid to the processes of aridization as the main factor of irrational use of water. The definition of water sustainability is formulated. The list of developed and improved technical solutions for improving water availability is given, which are recommended for identical arid regions of the World.

*Keywords:* water, water availability, water conservation, aridization, desertification, water sustainability

Главнейшим лимитирующим и стратегическим ресурсом развития аридных экосистем Мира является вода. Решение вопросов водообеспеченности стало важной и сложной научно-технической проблемой современности, «...к 2030 году глобальный дефицит водных ресурсов на планете достигнет 40 %. Общепланетное потребление воды к 2050 году возрастёт на 55%» [1].

«Вода является одной из важных проблем в свете изменения климата. Для борьбы с растущими рисками и неопределенностями водных стихийных бедствий крайне необходима разработка методических и эффективных механизмов регулирования» [2]. Существующие технологии рационального водопользования, прежде всего для коммунально-бытового и сельского хозяйства, промышленности ещё не полностью обеспечивают водосбережение.

В мире в этом плане проводятся исследования, в том числе: разработка и внедрение эффективных инновационных мероприятий по экономии водопотребления с целью уменьшения нагрузки на водные ресурсы; изыскание дополнительных источников вод; анализ и решение проблем деградации орошаемых земель; охрана и улучшение качества вод; повышение плодородия зоны аэрации.

Более 25 стран сегодня относятся к категории критических с точки зрения запасов воды, а в ближайшие десятилетия их количество резко возрастет [3]. По прогнозам ООН, к 2050 г. население Земли составит 8,9 млрд. человек, от дефицита воды будут страдать от 2 до 7 млрд. человек [4]. Национальный разведывательный совет США высказывает предположение, что в ближайшие 20 лет возрастет риск народных конфликтов из-за нехватки энергоресурсов, воды – питьевой и для сельскохозяйственных нужд, а также продовольствия [5]. Как показывает мировой опыт, развитие орошаемого земледелия в аридных условиях при остром дефиците водных ресурсов зависит от главного лимитирующего фактора – водообеспеченности. И как отметил академик Н.Р. Хамраев «...вопросы водообеспеченности приобретают все большую значимость для устойчивого развития водоемких стран» [6]. Подытоживая все высказывания, президент Всемирного водного совета Луи Фашон сказал: «Время «легкой» воды закончилось, человечество вступило в новую эру её совместного использования [7].

Оценка возобновляемых водных ресурсов и водообеспеченности, их изменений во времени и распределения по территории является наиболее актуальной глобальной проблемой современной гидрологии в период, когда быстрыми темпами увеличивается население, развивается экономика, интенсифицируются процессы глобального потепления [8]. По данным Национального управления США по изучению атмосферы и океана, в марте 2010 г. на суше средняя температура воздуха составила 13,5 градусов, что на 0,77 градусов превысило температуру воздуха на эту дату прошлого века. Отмечено о самом теплом марте на Земле до настоящего времени [9].

Как отмечает В. Е. Чуб, аридизация климата стала активно проявляться с конца 3 – начала 2 тысячелетия до нашей эры [10]. Аридность климата, как правило, сочетается с равнинностью территории, интенсивной ветровой деятельностью, наличием почв легкого механического состава, их засоленностью, высокой минерализацией грунтовых вод [11]. Они составляют 36–40 % территории суши мира. До 70 % её территории подвергается засухам с частотой от 5–10 до 60 раз в столетие [12]. По площади наиболее аридными континентами являются Австралия (82 %), Африка (50 %), Азия (50 %). В Евразии аридные области составляют около 35 %, в Северной – 28 % а в Южной Америке – 21 % от общей поверхности материков [13]. Более 1/3 земной поверхности (49 млн км<sup>2</sup>) занимают аридные зоны. В ЦА аридные земли составляют более 300 млн. га (75 % от общей площади – 4млн км<sup>2</sup>) [14]. Почти 85% территории Узбекистана занимают пустыни и полупустыни [15]. Коэффициент аридности здесь составляет в среднем 0,085, т. е. годовое испарение более чем в 10 раз превышает количество атмосферных осадков [16].

Опустынивание суши расширяется со скоростью порядка 25 тыс. км<sup>2</sup>/год [17]. Повышение аридности климата, региональное усиление опустынивания обуславливают процессы деградации гидро-и агроэкосистем, среди которых наибольшую тревогу вызывают водные ресурсы. Как отмечал В. А. Ковда, роль человека в ускорении естественных процессов опустынивания соизмерима с естественными факторами аридизации. Возникновение более 9 млн. км<sup>2</sup> площади пустынь обусловлено антропогенной деятельностью, а не изменением климата [18]. В настоящее время, по данным ФАО и ЮНЕП, на планете деградированы 20 565 000 км<sup>2</sup> площади земель, из них 5 500 000 км<sup>2</sup> (26,7 %) в результате неправильного ведения сельского хозяйства и, в первую очередь, неправильной ирригации и орошения [19].

Как подчеркнуто в Национальной стратегии и плане действий РУз по сохранению биологического разнообразия, изменения гидрологии и подобные факты привели в движение процессы опустынивания во всех ЦА республиках. Наиболее сильно они отразились на Узбекистане, Казахстане и Туркменистане [15].

В плане национальной безопасности государств, в большинстве стран мира, особенно с дефицитом водных ресурсов, отношение к воде кардиналь-

но меняется и усиливается роль водного фактора [20]. Природные воды, с одной стороны, участвуют в формировании природных комплексов аридной зоны, с другой – выступают как элемент производительных сил, влияя тем самым на экономическое и социальное развитие этого региона. По оценкам различных организаций, к 2025 г. третья часть растущего населения планеты будет страдать от недостатка воды на орошение (к концу XX в. от этого страдало около 15 % населения). Около 80 % всех глобальных ресурсов пресной воды, используемой человечеством, потребляется на орошение [21]. Ожидается, что к 2030 г. площадь орошаемых земель возрастет на 20%, объем потребления воды увеличится на 14 % [22]. В декларации тысячелетия ООН отмечено – остановить нерациональную эксплуатацию водных ресурсов, разрабатывая стратегии водохозяйственной деятельности на региональном, национальном и местном уровнях, способствующие справедливому доступу к воде и её достаточному предложению [23]. Правило устойчивости гласит: “Потребность в воде должна удовлетворяться только в пределах полезного стока”. Однако запасы воды неравномерно распределены во времени и пространстве [3].

В Центральноазиатском регионе на орошение затрачивается до 90 % водных ресурсов [24]. Основная часть речных вод в бассейне Аральского моря расходуется на ирригацию. Антропогенное испарение ( $Z_{a.и.}$ ) составляет основную часть потерь речных вод [25]. Из общего водозабора примерно 80 % теряется на фильтрацию из оросительной сети и промывной режим на полях [26]. 50 % водных ресурсов расходуется непродуктивно из-за неэффективного использования воды в самом орошаемом земледелии вследствие несовершенства технического уровня гидромелиоративных систем республик ЦА, а также непродуктивных способов орошения и полива, используемых в староорошаемых зонах [6].

В ЦА в XXI в. возможно обострение ситуации из-за ограниченности водных ресурсов Экологические последствия хозяйственного освоения водных ресурсов региона оцениваются как негативные [27]. Прогнозируемое влияние изменений климата на водные ресурсы Центральной Азии может привести к сокращению водности рек на 20÷40% [26]. Более 90% сельскохозяйственной продукции в ЦА производится в условиях орошения и лишь 10 % – в условиях богарного земледелия [28]. Как отмечает академик И.П. Кружилин, трудно переоценить влияние орошения на решение продовольственной программы. Занимая не более 19% мировой площади пашни (1500 млн га), орошаемые земли служат источником получения примерно половины производимого в мире объема продовольствия [29].

В отношении обеспечения водными ресурсами Узбекистан находится в наиболее неблагоприятных природных условиях [30]. С учетом засушливости климата водные ресурсы являются в данном регионе одним из главных факторов, лимитирующих социально-экономическое развитие. Происхо-

дящие изменения глобального климата могут привести к изменениям сложившегося баланса системы климат – водные ресурсы [31]. В целом, многолетний ход температуры воздуха в Узбекистане характеризуется ростом среднемесячных и годовых температур [32]. Низкая обеспеченность орошаемых земель водой обусловлена не только ограниченностью водных ресурсов, но и неэффективным их использованием. Как показал проведенный объединением «Водпроект» анализ, до растений доходит всего 40 % забранной из источников воды, а остальная её часть теряется в оросительной сети (около 40 %) и при поливе (около 20%). Более 60% общих потерь воды образуют возвратной сток [33]. Эксперты говорят о необходимости полного переустройства мелиоративных систем, адаптированных к угрозам опустынивания.

Особенностью Узбекистана является использование более 90 % всех доступных водных ресурсов на нужды ирригации [34], на неирригационные нужды – 8 %, в том числе в коммунальном хозяйстве – 4 %, промышленности – 1,5 %, энергетике (безвозвратных потерь) – 0,2 %, прочие нужды – 2,3 % [35].

В концепции устойчивого развития Узбекистана одной из стратегических целей устойчивого развития страны определяется рационализация и эффективное земле- и водопользование. С точки зрения концептуального направления национальной природоохранной политики, Узбекистан развивается в напряженной экономической, водохозяйственной, демографической и экологической обстановке [36].

В годы, отличающиеся повышенной водностью, Узбекистан потребляет до 63 км<sup>3</sup> воды, в том числе на орошение 59 км<sup>3</sup> (94 %). В годы пониженной водности эти показатели снижаются соответственно до 54,2 км<sup>3</sup> и 49,0 км<sup>3</sup> (90 %) на орошение, что значительно ниже лимита (61,1 км<sup>3</sup>) [37]. Преобладающая их часть (80÷83 %) затрачивается в вегетационный период [38]. Диверсификация посевных площадей в перспективе уменьшит хлопковые поля до 30 %, даже с учётом сценария устойчивого развития (СУР), прогнозы (2025) использования водных ресурсов на орошение будут составлять 67,5 % (24,7 км<sup>3</sup>) от общего водопотребления (таблица).

**Потребности в воде Узбекистана (км<sup>3</sup>)**  
**Water requirement of Uzbekistan (km<sup>3</sup>)**

№ п/п	Водопотребитель	Фактически объем (2011) *	Прогнозный объем с учетом СУР, 2025
1	Ком. бытовое хоз.	2,39	2,58
2	Орошаемое земледелие	43,4	24,7
3	Промышленность	0,84	0,77
4	Рыбное хозяйство	0,57	2,41
5	Энергетика	0,26	1,23
6	Прочие	0,58	4,91
	<b>ИТОГО</b>	<b>48,04</b>	<b>36,6</b>

Примечание: \*Данные Госкомитета РУз по охране природы, 2013 г.

Для предотвращения дефицита водных ресурсов необходимо изыскать дополнительные источники воды, в том числе требуется разработка комплекса мероприятий по эффективному использованию подземных и дренажных вод [33]. Очевидно, что для разработки стратегии устойчивого водопользования (водоустойчивости) требуется интегративный, междисциплинарный подход, включающий элементы математического моделирования, системного анализа, экологии, экономики, программирования и ГИС-технологий [39]. И, как бы подытоживая высказывания, генеральный секретарь Международной комиссии по ирригации и дренажу Мукутесвара Гопалакришнан (Индия) отметил: «Путем налаживания эффективного управления водными ресурсами, рационального их использования можно достичь решения многих социальных проблем, таких, как охрана здоровья населения, обеспечение продовольственной безопасности, защита окружающей среды. А это является одним из основных факторов социального и экономического развития каждой страны» [40].

В этом плане Президент Узбекистана Ш. М. Мирзиёев потребовал в ближайшее время представить комплекс предложений по улучшению положения дел в сфере экологии [41]. С точки зрения гидрологии предлагаем разработку для всех отраслей экономики усовершенствованные схемы комплексного использования и охраны водных. Современные собственные водные ресурсы Узбекистана составляют 9,701 км<sup>3</sup>/год, с сопредельных территорий поступает 95,642 км<sup>3</sup>/год. За пределы республики уходит 47,562 км<sup>3</sup>. Сегодня Узбекистан, как и другие государства Средней Азии, сталкивается с необходимостью поиска путей предотвращения возникших водных проблем и, прежде всего, смягчения водного дефицита [31]. В республике всего лишь 15÷18 % потребляемой воды для сельскохозяйственного производства обеспечивается собственными водными источниками [42]. В настоящее время имеются три основные проблемы, связанные с водоустойчивостью: – нехватка (мы бы отметили несовершенство технологии использования) водных ресурсов, требуемых для различных отраслей экономики; – засоление сельскохозяйственных земель; – нехватка запасов чистой питьевой воды, ставшая жизненно важным вопросом не только с точки зрения экологии, но также в социально-экономическом плане [43].

В сложившихся геополитических условиях на рубеже XX и XXI веков система водопотребления Узбекистана имеет устоявшуюся структуру. Теперь, когда появились проблемы, связанные с нехваткой водных ресурсов для нужд населения, сельского хозяйства и промышленности, требуются новые решения рационального использования воды [44]. Как бы подытоживая вышеприведенные факты, профессор Ноттингемского университета С. О'Хара отметила, что в регионе существуют проблемы с управлением водными ресурсами. В прилегающих к Аралу странах необходима модернизация всей ирригационной системы, разработанной большей частью много лет назад [45].

Приоритетным направлением модернизации ирригации и дренажа в Узбекистане и других странах Средней Азии является реализация водосберегающих мероприятий и технологий. Причем, прежде всего, в сельхозпредприятиях. На внутривладельческие ирригационно-дренажные системы и полив приходится более 60 % потерь оросительной воды [46].

Водные проблемы должны быть приоритетными при решении экологических проблем нашего (точнее аридного) региона, поскольку социально-экономические, демографические и другие проблемы тесно с ними связаны [47]. В рамках концепции устойчивого развития следует поддерживать укрепление вклада водных ресурсов в развитие зеленой экономики таким образом, чтобы это вело к сокращению бедности, стимулированию экономического роста, сохранению экосистем и противодействию последствиям климатических изменений. В принятых 17 новых целях для устойчивого развития до 2030 года выделены задачи, также непосредственно относящиеся к данной проблеме, где отмечено: Цель 6. – Обеспечить наличие и рациональное использование водных ресурсов и санитарии для всех [48]

С учетом всех сложившихся реалий было сформулировано определение водоустойчивости, под которым понимается развитие водного хозяйства в таком виде, в таких масштабах и темпах, которые обеспечат интегрированное управление водных ресурсов сегодня и в будущем. Иначе говоря, устойчивость любой экосистемы определяется водоустойчивостью, т. е. свойством водных ресурсов выполнять свои функции, которые определяются степенью оптимального обеспечения всех отраслей экономики сегодня и в будущем независимо от всевозможных антропогенных, техногенных и природных воздействий.

Принципиально обращая внимание на данную проблему, президент АН Узбекистана академик Б. Юлдашев подчеркнул: «Вода для региона – это самая большая проблема. Для нас особенно большая проблема – это эффективное использование существующей воды» (из выступления на встрече с Президентом Узбекистана, 30.12.2016). В концепции устойчивого развития Узбекистана, одной из важных приоритетных задач отмечено: – рационализация водосбережения во всех сферах водопотребления и восстановления качества водных ресурсов [49].

Особенно вышеотмеченные требования актуальны для южных районов республики, включающих Кашкадарьинский и Сурхан-Шерабадский речные бассейны где проводились исследования.

Востребованность исследований по водоустойчивости аридных территорий усугубляется тем, что на рубеже XX и XXI вв. зафиксировано повышение среднегодовой температуры Земли на 0,6 °C [50]. Глобальная температура у поверхности Земли в XXI веке может повыситься на 1,5÷5,8 °C [36], а на территории Р.Уз к 2015–2030 годам (по сравнению с 1961–1990 гг.) изменения заключены в диапазоне 1,0÷2,5 °C [10]. Использование земельно-

водных ресурсов и их качество в условиях изменения климата в территориальном разрезе является приоритетным направлением в социально-экономической и экологической политике Республики Узбекистан [51].

Иными словами, можно отметить, что уже давно назрела необходимость разработки районированных по отдельным природным зонам модернизированных технологий, позволяющих обеспечить водоустойчивость аридных территорий. В настоящее время назрела проблема детальной качественной и количественной оценки водно-земельных ресурсов с учетом техногенно-антропогенного фактора и глобального изменения климата. Данный анализ, обобщение мирового опыта и наши исследования позволили разработать комплекс рекомендаций. Впервые осуществлено районирование исследуемой территории по природно-водохозяйственным факторам, анализ динамики, минерализации и метаморфизации химического состава подземных и поверхностных вод, выявлены закономерности. На основе этого разработаны научные основы комплексных технических решений (деминерализация вод, сублиригация, мелиорация осолонцевания, технология повышения продуктивного испарения, способ борьбы с ирригационной и ветровой эрозией, сохранение энергии почв и др.) для применения в идентичных аридных экосистемах Мира.

Однозначно, не надо ждать ренатуризации водно-земельных ресурсов. Обобщая все высказывания, автором избран комплексный экспериментально-теоретический подход в решении проблем, который получил название «водоустойчивые технологии и способы» (ВУТС)». Поэтому научно-практическое обоснование гидрологических процессов в аридных экосистемах, с целью повышения водоустойчивости всех отраслей экономики, на основе классических методов анализа, приобретает особую важность.

#### Литература

1. Новый доклад ООН: Вода и устойчивое развитие. (WWAP, WWDR). 2015. [www.unesco.org](http://www.unesco.org).
2. Министерская декларация 6-го Всемирного водного форума. Южная Корея, 13.04.2015. [www.cawater-info.net/7wwf/ministr-decl.htm](http://www.cawater-info.net/7wwf/ministr-decl.htm)
3. Лундин Л., Линнер Г., Гультман Б., Левлин Э., Эрикссон Э., Йоханссон З. Водные ресурсы и водоснабжение. В кн.: Использование и менеджмент водных ресурсов. Минск: Технопринт, 2000. Т. 2. С. 15–24.
4. Савельев В. Ю. Экологический менеджмент. М.: Логос, 2001. 126 с.
5. Пахомов А. Мир в 2025 году, каким видит его американская разведка // Эхо планеты. 2008. № 46.
6. Хамраев Н. Р. Когда расцветает земля. Ташкент: Sharq, 2010. 144 с.
7. «Народное слово»: газета / учредитель ООО Дом типографии редакции газет «Халк сузи» и «Народное слово». – 2011, 13 мая, 1 с.
8. Шикломанов И. А., Балонишников Ж. А. Водопотребление и водообеспеченность, нагрузка на водные ресурсы. Основные факты и методы оценки // Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. С. 396–399.

9. «Народное слово»: газета / учредитель ООО Дом типографии редакции газет «Халк сузи» и «Народное слово». – 2010, 20 апреля, № 76. 3 с.

10. Чуб В. Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. Ташкент: САНИГМИ, 2000. 252 с.

11. Селютин В. В., Бердников С. В. Системный анализ и математическое моделирование в задачах управления водными ресурсами Юга России // Экологический вестник научных центров Черноморского Экономического сотрудничества (ЧЭС). 2005. № 3. С. 52–59.

12. Голованов А. И., Кошкарлов С. И., Сухарев Ю. И. Влияние ирригации и дренажа на функционирование агроландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 4. С. 11–15.

13. Мирзажанов К., Майлибаев С. Эрозия почв и меры борьбы с ней // Тезисы доклада Среднеаз. научной конф. по вопросам мелиорации земель и борьбы с эрозией почв. Ташкент. 1971. С. 21–23.

14. Шамсудинов З. Ш. Биологическая мелиорация: концепция, перспективы // Мелиорация и водное хозяйство. 1993. № 3. С. 12–14.

15. Постановление кабинета министров республики Узбекистан № 139 (1998). Сохранение биологического разнообразия. Национальная стратегия и план действий.

16. Национальный доклад о состоянии окружающей природной среды и использование природных ресурсов в республике Узбекистана (1998). – Ташкент: «Chinor ENK», 1998. – 104.

17. Ковда В. А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука, 2008. 415 с.

18. Бурлакова Л. М. Деградация земель и опустынивание // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. №1. С.6–9.

19. Эргашев А. Этико-генетические аспекты сохранения биоразнообразия в контексте устойчивого развития // Экологический вестник. 2011. № 1. С. 55–56.

20. Петраков И., Аляхасов Ж., Николаенко А. Управление водными ресурсами в Казахстане – история, современное состояние, анализ, сравнение. Алматы: Контур, 2007. 288 с.

21. Вышпольский Ф., Мухамеджанов Х. Опыт использования лизиметров для корректировки режимов орошения сельскохозяйственных культур // Сб. науч. трудов. Материалы международного семинара ИКАРДА. 2002. С. 139–149.

22. Савельев В. Ю. Экологический менеджмент. М.: Логос, 2001. 126 с.

23. Есекин Б., Даиров И., Николаенко А. Всемирный саммит по устойчивому развитию: основные итоговые документы. Алматы: Региональный экологический центр Центральной Азии, 2003. 150 с.

24. Рысбеков Ю. Х. Трансграничное сотрудничество на международных реках: проблемы, опыт, уроки, прогнозы экспертов. Ташкент: НИЦ МКВК, 2009. 202 с.

25. Хикматов Ф. Х., Айтбаев Д. П., Юнусов Г. Х. Структура и аналитическая модель расходования речных вод в бассейне Ар. моря и проблемы их количественной оценки // Проблемы питьевого водоснабжения и экологии. Ташкент: ТашГУ, 2002. С. 220–226.

26. Аламанов С. К., Лелевкин В. М., Подрезов А. О., Подрезов О. А. Изменение климата и водные проблемы в центральной Азии. Москва – Бишкек: WWF России, 2006. 188 с.

27. Шерфединов Л. З. Водохозяйственная стратегия и трансформирование структуры стока р. Сырдарья // Проблемы питьевого водоснабжения и экологии. Ташкент: Университет, 2002. С. 46–52.

28. Шульц Б. Вода для продовольственной и экологической устойчивости в быстро меняющихся условиях // Мелиорация и водное хозяйство. 2002. № 3. С. 46–48.

29. Кружилин И. П. Мелиорация земель как фактор продовольственной и экологической безопасности // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 2. С. 18–20.

30. Национальный доклад о состоянии окружающей природной среды и использовании природных ресурсов в Р. Узбекистан (2002–2004). – Ташкент: Chinor ENK, 2005.– 132.
31. Чуб В. Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Р. Узбекистан. Ташкент: НИГМИ, 2007. 132 с.
32. Мягков С., Климов С. Изменения климата и чувствительность к острым кишечным заболеваниям // Экологический вестник. 2011. № 2. С. 49.
33. Антонов В. И. Водные ресурсы Узбекистана как часть общих водных ресурсов бассейна Аральского моря и их использование в современных условиях и в перспективе // Водные ресурсы, проблема Арала и окружающая среда. Ташкент: ТашГУ, 2000. С. 19–39.
34. Ососкова Т. А., Спекторман Т. Ю., Чуб В. Е. Осуществление статьи 6 рамочной конвенции ООН об изменении климата. Ташкент: Проект ЮНЕП, 2005. 54 с.
35. Мониторинг окружающей природной среды. Доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан за 2002–2004 гг. / составитель: Б. Б. Алиханова, Н. М. Умаров, К. Ф. Садыков, Т. А. Ососкова, Т. А. Фролова, О. П. Миршина, А. А. Мавлонов, О. Т. Разиков, В. П. Купченко, С. А. Абдуллаев, В. Е. Сектеменко, М. М. Мирходжиев. – Ташкент, 2005. 108 с.
36. Изменение климата. Обобщенный доклад МГЭИК / составитель Уотсон Р. Т. Geneva: World Meteorological Organization, 2003. 220 с.
37. Абдуллаев У. В. Проблемы водообеспечения республики Узбекистан // Сборник научных трудов научно – практической конференции. Ташкент. 2002. С. 19–25.
38. Айдаров И.П. Пути решения региональных водохозяйственных проблем // Мелиорация и водное хозяйство. 2010. №5. С. 43–48.
39. Данилов-Данильян В. И., Хранович И. Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.
40. «Народное слово»: газета / учредитель ООО Дом типографии редакции газет «Халк сузи» и «Народное слово». – 2010, 19 ноября. С. 1.
41. «Народное слово»: газета / учредитель ООО Дом типографии редакции газет «Халк сузи» и «Народное слово». – 2017, 16 января. С. 2.
42. Умурзаков У. П., Абдуллаев З. С., Абдурахимов И. Л. Эволюция менеджмента в сфере водопользования и водного хозяйства в центральной Азии. Ташкент: Фан, 2006. 360 с.
43. Алиханов Б. Б. Выступление Председателя Государственного Комитета Республики Узбекистан по охране природы // Экологический вестник. 2007. № 11. С. 6–8.
44. Насрулин А. Б., Чембарисов Э. И., Лесник Т. Ю. Опыт исследования миграции легкорастворимых солей и загрязняющих веществ в поверхностных водах крупных речных бассейнов Узбекистана // Материалы Республиканской научно-практической конференции. Ташкент: АН РУз., 2009. С. 23–28.
45. «Народное слово»: газета / учредитель ООО Дом типографии редакции газет «Халк сузи» и «Народное слово». – 2010, 19 октября. С. 2.
46. Михайлов В. Определение эффективности внутрихозяйственного ирригационного водосбережения // O'zbekiston qishloq xo'jaligi. 2004. № 2. С. 21–22.
47. Насрулин А., Чембарисов Э., Лесник Т. Опыт использования методики гидро-экологического мониторинга качества вод для рек Узбекистана с использованием ГИС-технологий // Экологический вестник. 2007. № 8. С. 21–22.
48. Электронный ресурс – <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/summit/>
49. Концепция устойчивого развития Республики Узбекистан (1998). – Ташкент, 1998. – 13.
50. Шикломанов И. А., Шикломанов А. И. Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 6. С. 645–654.
51. Чуб В. Е., Ососкова Т. А. Изменение климата и поверхностные водные ресурсы Аральского моря // Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. 1999. №3. С. 5–15.

**УДК 577.4:581.5**

Шухрат Одилевич Мурадов, д-р тех. наук,  
и.о. профессора  
Дилдора Исмаилжоновна Киличева,  
магистр  
Равшан Абдуразакович Эшанкулов,  
докторант  
Жалолиддин Фанишер ўғли Маманов,  
студент  
(Каршинский инженерно-экономический  
институт)  
E-mail: m.oikos@mail.ru, k.d.i.77@mail.ru,  
m.oikos@mail.ru, m.oikos@mail.ru

Shukhrat Odilovich Muradov, Dr. of  
Professor  
Dildora Ismailjonovna Klicheva,  
student  
Ravshan Abdurazzakovich Eshankulov,  
doktorant  
Jaloliddin G'anisher ugli Mamanov,  
student  
(Karshi Engineering Economic  
Institute)  
E-mail: m.oikos@mail.ru, k.d.i.77@mail.ru,  
m.oikos@mail.ru, m.oikos@mail.ru

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ-КЛЮЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

### ECOLOGICAL EDUCATION – IS THE KEY OF RATIONAL WATER USE

Предлагается к обсуждению сквозная общенаучная образовательная программа по экологии (с основами охраны природы). Основной целью данной программы является формирование экологического мировоззрения и мышления. Поэтому она включает как вопрос экологического образования, так и экологического воспитания. Программа имеет сквозной характер – и охватывает практически все возрастные и образовательные группы, начиная с дошкольного и завершая послевузовским образованием. Излагается сущность современного понимания науки экология и в частности обращено внимание на основной объект – биогеоценоз. На основе анализа основополагающих схем, предлагается новая схема биогеоценоза, где выделяется гидротоп как важный компонент в экологическом образовании.

*Ключевые слова:* экология, экологическое образование, программа обучения, экосистема, биогеоценоз, гидротоп.

A cross-cutting general educational program on ecology (with the basics of nature protection) is proposed for discussion. The main goal of this program is the formation of an ecological worldview and thinking. Therefore, it includes as a question of the environmental education and environmental training. The program is cross-cutting nature – and covers virtually all age and educational groups, beginning with the preschool and completion of a higher education. The essence of modern understanding of the science of ecology is outlined and, an attention is paid particularly to the main object – biogeocoenosis. Based on the analysis of the basic schemes, a new scheme of biogeocoenosis is proposed, where the hydrotape is identified as an important component in environmental education.

*Keywords:* ecology, ecological education, syllabus, ecosystem, biogeocoenosis, hydrotape.

Экономическая и водохозяйственная стабильность государств невозможны без решения целого ряда экологических проблем, одной из важнейших составных частей которых является экологическое образование и воспитание населения, в первую очередь студенческой молодежи и подрастающего поколения.

В законе Республики Узбекистан «Об охране природы» (09.12.1992) подчёркнуто: «...обязательность экологического обучения во всех видах образовательных учреждений» (ст. 4, 3 абзац). В своем докладе Президент Узбекистана Ш. М. Мирзиёев по итогам социально-экономического развития страны в 2016 г. и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2017 г. говорил о несерьезном отношении к проблемам экологии и поручил в ближайшее время представить комплекс предложений по улучшению положения дел в этой сфере. Такое «отношение», как мы видим сегодня, нанесло огромный вред экономике и природе, породило неблагоприятные санитарно-гигиенические условия жизни, усугубило многие экологические проблемы, в том числе, проблему Аральского моря. Именно потому, что общий уровень экологического образования еще недостаточен, низка экологическая культура населения.

С целью решения данного пробела, разработана сквозная общенаучная программа обучения предмета Экология для ВУЗов, этим сделана попытка внести посильный вклад в решение экологических проблем страны, прежде всего – в образовательной сфере. Программа составлена на основе международных программ изучения предмета экология (Оксфордский университет, Великобритания; Колумбийский университет, США; Пес университет, США; Шведский королевский технологический университет; Вагенингенский университет, Нидерланды; Московский государственный университет; Украинская инженерно-педагогическая академия) и в соответствии с Государственным стандартом Узбекистана «Требования к необходимому содержанию и уровню подготовки бакалавра...» Данная программа способствует выполнению проекта Постановления Кабинета Министров «Об утверждении концепции Экологического образования Республики Узбекистан» от 15.06.2018

В программе особое внимание уделено таким проблемам и вопросам как фундаментальное единство естественных наук; динамические и статические закономерности в природе; взаимодействие организмов и среды, сообществ и экосистемы; биосфера и закономерности ее развития; экологические принципы охраны природы и рационального природопользования; перспективы сохранения биоразнообразия и устойчивого развития общества, создания неразрушающих природу технологий и др.

Оптимальные условия существования и жизнедеятельности человека могут быть созданы только при знании закономерностей, управляющих системами «организмы – среда», «общество – человек – природа». Именно эти закономерности изучает экологическая наука.

Вместе с тем, экология относится к числу биологических дисциплин. В то же время научно-техническую политику, особенно в различных областях промышленности и транспорта, осуществляют инженерно-технические работники, не имеющие специальной биологической подготовки. Сказанное относится также к студентам технических и технологических, экономических

и общественно-гуманитарных специальностей вузов. Поэтому при разработке данной программы мы стремились обратить внимание изучающих на минимум необходимых биологических знаний, а конкретные проблемы экологии увязывать с инженерными мероприятиями охраны окружающей среды.

С другой стороны, современная экология теснейшим образом переплетается не только с вопросами техники и технологии, но и политики, экономики, духовности, права, медицины, эстетики и ряда других дисциплин. По мере возможности, и эти вопросы включены в программу.

Как уже неоднократно отмечалось, традиционно под экологией понимается наука о взаимоотношениях организмов (или их сообществ) со средой обитания, а также закономерностях их жизнедеятельности. Однако правильное понимание взаимодействия организмов со средой практически невозможно без глубокого и всестороннего изучения как самих организмов, так и закономерностей, присущих среде обитания. Таким образом, сам объект экологии как науки требует глубокого вторжения, с одной стороны, в такие области знания как физиология, биохимия, генетика, с другой стороны – в область естественно- научных дисциплин (гидрология, геология, метеорология, геохимия, космогония и др.). Разрешая данное противоречие, экология как бы «выходит» за свои чисто биологические рамки и уже сегодня становится прообразом синтетической супернауки о мироздании в его научном понимании [1]. Этим объясняется и то большое внимание, которое мы уделяем в своей программе как организмам, так и среде их обитания (в широком смысле слова).

Целью разработанной программы по экологии с основами охраны природы является формирования у подрастающего поколения и специалистов экологического мировоззрения и мышления. Поэтому она включает вопросы и экологического образования, и экологического воспитания. Программа имеет сквозной характер и охватывает практически все возрастные и образовательные группы, начиная с дошкольного и завершая послевузовским образованием.

Программа составлена на основе системного подхода, что обеспечивает комплексно-структурное решение возникающих в ходе учебного процесса вопросов, а также творческое использование в курсе экологии научных идей термодинамики, социологии, а также возможности информатики, кибернетики и ряда других дисциплин.

Излагаемые вопросы полностью соответствуют Государственной программе Узбекистана по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов и направлены на безусловное воплощение в жизнь принципиального указания Президента Республики Ш.М. Мирзиёева о том, что «...необходимо коренным образом пересмотреть учебные планы и программы, привлекая для этого опытных педагогов и специалистов».

Программа построена на принципах повторяемости расширения теоретических знаний и практических навыков, обучающихся на каждой, более

высокой, ступени образования. Однако ее не следует рассматривать в качестве универсального трафарета.

Поэтому в преамбулах (или заключениях) подпрограмм – ступеней содержатся указания о возможных направлениях ее расширения или специализации в зависимости от профиля учебного заведения или деятельности будущего специалиста. В частности, выделены нижеследующие ступени изучения:

1. Дошкольное образование.
2. Общее среднее образование.
3. Среднеспециальные школы, академические лицеи и профессиональные колледжи.
4. Высшее образование.
5. Послевузовское образование.
6. Переподготовка на ФПК.

Также дана тематика магистерских работ. Учащийся или специалист, овладевший программой в целом или прошедший обучение по отдельным ее ступеням, должен знать основные теоретические положения, законы, закономерности, правила и принципы экологии, ориентироваться в экологическом законодательстве и вопросах экологической политики. Он должен уметь реалистически оценивать экологическую обстановку и гармонически увязывать свою профессиональную деятельность с экологическими требованиями.

Как известно, наиболее общими и определяющими понятиями в экологии являются, вместе с понятием самого предмета, термины «организмы» и «среда».

Под термином «организмы» понимается совокупность объектов, обладающих признаками жизни. Так, как проблема определения грани между живым и неживым, а также происхождения живого из неживого, до сих пор не разрешена наукой, термин «организмы» (синоним: «живое вещество») имеет различное толкование – биологическое, экологическое, термодинамическое и т. п.

С экологических и геохимических позиций главной особенностью организмов (живого вещества) является их способность пропускать через себя атомы химических элементов земной коры, гидросферы и атмосферы, осуществлять их сортировку в процессе жизнедеятельности и возвращать окружающей среде в конце жизненного цикла все ранее взятое.

Организмы не могут существовать вне конкретной среды. Однако не любая среда пригодна для их жизнедеятельности, только достаточно качественная. При этом под *качеством окружающей среды* понимается степень соответствия природных условий потребностям человека или других живых организмов.

Первоочередной задачей экологии является обеспечение человека, а также непосредственно и косвенно связанных с ним организмов, достаточно высоким качеством окружающей среды или, по крайней мере, не допущение существенного его снижения.

Когда мы говорим «достаточно высокое качество», это означает, что среда должна способствовать устойчивому функционированию природно-сложившейся или преобразованной человеком экологической системы, а также не создавать предпосылок для деградации любых организмов и популяций (в первую очередь, человеческой и жизненно с ними связанных).

Критериями качества среды являются: высокая биологическая продуктивность видов, оптимальное соотношение видов в биомассе и др. [2].

Сам же термин «среда» в экологии понимается как совокупность природных или преобразованных тел и явлений, находящихся в прямых или косвенных отношениях с организмами. Понятие «среда» имеет много производных синонимов.

В буквальном смысле слова экология – это наука об организмах «у себя дома». В более строгом смысле определение экологии можно сформулировать следующим образом.

Образное определение экологии и ее взаимосвязи с другими дисциплинами дано в книге П. Бертокса и Д. Радда (1980). Они ссылаются на работу А. Леопольда (1966), который, стремясь дать наглядное представление о различных сферах деятельности человека, сравнил Землю с рекой, не имеющей ни начала, ни конца (“Round River”). В свою очередь, название А. Леопольд позаимствовал из народного предания, согласно которому дровосек Поль Баньян случайно обнаружил на севере американского штата Висконсин реку, которая не имела ни истока, ни устья.

Итак, Земля – это Round River, по которой мы плывем на плотках из бревен. Изучение причин образования, предотвращения и ликвидации затопов мы называем экономикой, запоминание и изучение старых маршрутов – историей, выбор новых маршрутов – управлением государственными делами, а рассуждения о возможных речных порогах и стремнинах – политикой. Изучение почвы, флоры и фауны вдоль русла реки – это биология, происхождения и развития во времени – геология и эволюция; практическое использование почв, флоры и фауны – сельское хозяйство и промышленность.

Экология – наука о самой реке с движущимися по ней плотами, т. е. учение о биотической навигации. Поэтому охрану окружающей среды можно рассматривать как предпринимаемые нами меры, с тем, чтобы реке не причинялся непоправимый вред – рационально использовались водные ресурсы реки [3].

Если исходить из определения экологии, то она рассматривает Землю как дом, в котором мы живем. Чего мы желаем для своего дома? Во-первых, чтобы он был надежным и не разрушался, чтобы его стены и крыша спасали нас от непогоды. Во-вторых, в доме должен быть уют, все условия для хорошего отдыха после самой изматывающей работы. А ещё что? А ещё каждый из нас старается свой дом, т. е. реку улучшить, не превращая в проходной двор или склад утиля.



Если принять параллель, что Земля – это такой же дом, как и ваш особняк, дача или квартира в многоэтажке, то каждому станет понятнее не только смысловое значение термина «экология», но и основные задачи этой науки.

Предметом экологии являются экосистемы, однако в отличие от этого биогеоценоз – понятие размерное, ранговое, причем размерность ему придает определенный комплекс организмов и условий среды.

Данный термин в экологию введен В. Н. Сукачевым в 1940 г. Он дал следующее определение: «Биогеоценоз – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, гидрологических условий, растительности, животного мира, мира микроорганизмов и почвы). Эта совокупность имеет свою особую специфику взаимодействий слагающих её компонентов, свою особую структуру и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и с другими явлениями природы. Это приводит к тому, что каждый тип биогеоценоза имеет свой баланс световой и тепловой энергии и неорганического и органического вещества. В то же время биогеоценоз представляет собой внутренне противоречивое диалектическое единство, в постоянном движении, развитии и изменении» [4].

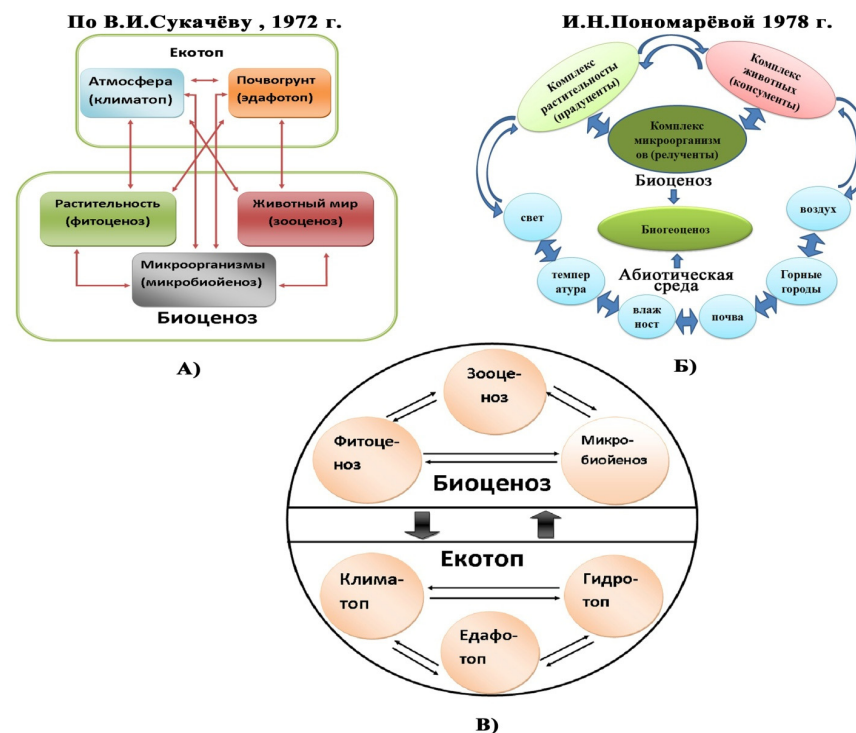
Соглашаясь с таким определением в принципе мы считаем, что оно все же требует уточнения (коррекции). Во-первых, биогеоценоз – это не только двухмерная (земная) поверхность, он имеет и определенную «глубину», т. е. третью пространственную координату (живые организмы проникают на десятки и сотни метров вглубь земли, а микроорганизмы, пыльца и споры растений встречаются вплоть до озонового слоя стратосферы и выше). Во-вторых, в определении имеются совершенно лишние слова типа «особая специфика» (что-то вроде «специфическая специфика» и т. п.). В-третьих, атмосферу, горные породы и др. объекты целесообразно называть не «природными явлениями», а средой обитания организмов.

Н. В. Тимофеев-Ресовский, Н. Н. Воронцов и А. В. Яблоков дают более лаконичное определение биогеоценоза: «Биогеоценоз представляет собой незамкнутую систему, характеризующуюся стабильностью структуры во времени и пространстве, имеющую вещественно-энергетические «входы» и «выходы», связывающие между собой смежные биогеоценозы в цепи, объединяемые стоком в широком смысле этого понятия» [5].

Биогеоценоз, как следует из его определения, включает две главные составляющие: совокупность живых организмов (*биоценоз*) и совокупность абиотических факторов – среду (*биотоп* или *экотоп*). В свою очередь, биоценоз включает сообщества растений (*фитоценоз*), животный мир (*зооценоз*) и микроорганизмы (*микробиоценоз*), а экотоп состоит из климатической (*климатотоп*), водной (*гидротоп*) и почвенно-грунтовой (*эдафотоп*) компонентов.

Следует отметить, что некоторые ученые либо вообще не признают объективного существования биогеоценозов, либо отождествляют их с поня-

тием экосистемы. Поэтому авторы считают нужным еще раз возвратиться к рассмотрению различий между понятиями «биогеоценоз» и «экосистема».



Структурно-функциональные схемы биогеоценоза

Эти понятия близки, но не тождественны. В силу своей безразмерности экосистема является более широким понятием, чем биогеоценоз, и может включать в себя несколько биогеоценозов. Любой биогеоценоз является экосистемой, и в этом смысле он выступает как бы «атомарной составляющей» экосистемы. В то же время экосистема может быть дробной частью биогеоценоза, т. е. существуют экосистемы, которые не являются биогеоценозами. Наиболее крупной, глобальной экологической системой является биосфера, включающая в себя всю совокупность биогеоценозов земного шара.

По схеме, предложенной В. И. Сукачевым (рисунок, а) экотоп имеет двухчленное деление (климатоп и эдафотоп) [6], в схеме же И. Н. Пономарёвой (рисунок, б) шесть делений. Мы посчитали целесообразным добавить гидротоп (рисунок, в). Разумеется, вода учитывалась и раньше в виде поч-

венной влаги (влажности), как у И. Н. Пономарёвой, в составе эдафатопа [7]. Однако почвенная вода-только часть природной воды. За «бортом» оставались многие подземные (напорные и безнапорные) и поверхностные воды (реки, водоемы). К тому же давно известно, что именно наличие воды определяет возможность существования жизни вообще.

Этим и объясняется важность водных ресурсов в экологическом образовании. Поэтому в учебный план инженеров экологов включены предметы Гидрология, гидрометрия, Комплексное использование и охрана водных ресурсов.

### Литература

1. Мурадов Ш. О. Основы экологии. Ташкент: Чинор ЭНК, 2006. 391 с.
2. Стадницкий Г. В., Родионов А. И. Экология. М.: Высшая школа, 1988. 272 с.
3. Валукоис Г. Ю., Мурадов Ш. О. Основы экологии. Т.: «Меҳнат», 2001. 328 с.
4. Сукачев В. Н. Программа и методика биогеоэкологических исследований // Изучение микроорганизмов как компонента биогеоценоза. М.: Наука, 1966. С. 195–228.
5. Тимофеев – Рисовский Н. В., Воронцов И. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977. 297 с.
6. Сукачев В. Н. Основные понятия лесной биоценологии // Основы лесной биоценологии. М.: Наука, 1964. 574 с.
7. Пономарёва И. Н. Экология растений с основами биогеоценологии. М.: Просвещение, 1978. 208 с.

### УДК 556.5:556.3:339:551

*Шухрат Одилевич Мурадов,*  
д-р тех. наук, и.о. профессора,  
*Феруза Алишеровна Турдиева,*  
ассистент  
(Каршинский инженерно-экономический  
институт)  
E-mail: m.oikos@mail.ru,  
feruza.turdieva.90@mail.ru

*Shukhrat Odilovich Muradov,*  
Dr.of, Professor  
*Feruz Alisherovna Turdieva,*  
Teaching Assistant,  
(Karshi Engineering Economic  
Institute)  
E-mail: m.oikos@mail.ru,  
feruza.turdieva.90@mail.ru

## НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СУБИРРИГАЦИИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В АРИДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

### SCIENTIFIC-PRACTICAL JUSTIFICATION OF SUBIRRIGATION AS A FACTOR OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE OF UNDERGROUND AND SURFACE WATER IN THE ARID ECOSYSTEM

На основании большого обзора мировой литературы обоснована необходимость разработки технических решений по управлению подземных путем регулирования

поверхностных вод в аридной зоне. Обоснована сущность разработанных усовершенствованных устройств для регулирования стока рек, каналов и дренажной сети. Отмечено, что внедрением технологии субиригации при существующей гиперирригации будет осуществлена полная ирригация. Изложены принципы устройства для регулирования стока «Каскад». На примере бассейнов рек: Кашкадарья, Сурхандарья и Шерабадарья выявлена эффективность данных сооружений для аридных экосистем. Выявлены всевозможные положительные эффекты от внедрения технологии субиригации в аридных экосистемах.

*Ключевые слова:* субиригация, регулирование поверхностных и подземных вод, водосбережение.

Based on a large review of world literature, the necessity of developing technical solutions for managing groundwater by regulating surface waters in the arid zone was justified. The essence of the developed improved devices for regulating the flow of rivers, canals and drainage network was justified. It is noted that the implementation of subirrigation technology with the existing hyperirrigation will be done full irrigation. The principles of the device for regulating the flow after named “Cascade” was stated. On the example of the basins of the rivers ‘Kashkadarya’, ‘Surkhandarya’ and ‘Sherabaddarya’, the effectiveness of these structures for arid ecosystems has been revealed. All sorts of positive effects from the introduced of subirrigation technology in arid ecosystems was revealed.

*Keywords:* subirrigation, regulation of surface and groundwater, water conservation.

Как считают Ф. Караджи и др., возникший дефицит в оросительной воде можно уменьшить за счет сокращения технологических потерь на фильтрацию и физическое испарение, повышения расхода подземных вод на субиригацию [1]. Доктор Джон Ламерс подчеркивает, что при выборе использования различных водосберегающих технологий следует учитывать технические и экологические критерии [2]. Именно в таком направлении решению проблем водопользования посвящается данная статья.

В настоящее время проблема рационального природопользования, и в частности водопользования, в аридных регионах представляется более сложной, чем это было несколько десятилетий назад [3]. В водохозяйственном комплексе особая роль должна принадлежать водооборотным технологиям, которые являются одним из инструментов решения основной задачи интегрированного управления (комплексного использования) водных ресурсов. В ирригационно-мелиоративном мероприятии (по В. Р. Вильямсу и А. Н. Костякову) это усиление биологического и замедление геологического круговорота воды и химических веществ [4]. Одним из источников экономии водных ресурсов является использование при соответствующих технико-экономических обоснованиях грунтовых вод для подпитки растений. Технология полуводооборотного мелиоративного цикла включает три стадии: «орошение – накопление грунтовых вод – увлажнение», является полужамкнутым процессом, что позволяет часть стока из большого геологического круговорота направлять в малый биологический круговорот.

Поверхностный сток и подземные воды образуют единый комплекс природных водных ресурсов. Однако, несмотря на провозглашенный прин-

цип единства природных вод, они изучаются, оцениваются и эксплуатируются, как правило, как самостоятельные источники водоснабжения [5]. Поэтому регулирование взаимосвязи поверхностных и подземных вод, их комплексное использование играет определяющую роль в обеспечении благоприятной экологической обстановки на орошаемых землях. Для этой цели в первую очередь необходимо сократить или исключить инфильтрационное питание грунтовых вод, т. е. создать и поддерживать в почвах определённое соотношение влаги и тепла [6]. Как отмечают Э. И. Чембарисов и А. Ж. Жакыпова, особо следует остановиться на возможности использования в народном хозяйстве коллекторно-дренажных вод. Особенно необходимо использовать для отраслей экономики слабоминерализованный (менее 3 г/л) дренажный сток [7].

На юге Узбекистана (2017) минерализация коллекторно-дренажных вод, по данным областных мелиоративных экспедиций, в верхних районах Кашкадарьинского бассейна колеблется в следующих пределах: Китабский район – 0,5±0,6 г/л; Шахрисабзский – 0,6±0,7 г/л; Чиракчинский – 2,0±2,2 г/л; Яккабагский – 3,0±4,0 г/л. Водообеспеченность этих районов равна соответственно – 55 %, 68 %, 61 %, 57 %. По Сурхан-Шерабадскому бассейну составляет: по району Денау – 0,42 г/л; Шурчи – 1,09 г/л; Олтинсой – 0,74 г/л; Кумкурган – 0,85 г/л. Водообеспеченность соответственно составляла: 82 %, 84 %, 89 %, 95 %.

Для повышения водоустойчивости одним из резервов являются дренажные воды. Однако эффективное их использование сдерживается отсутствием технических решений по регулированию стока в открытой коллекторно-дренажной сети. В основном эти проблемы рассматривались при использовании дренажного стока на переувлажненных осушаемых землях в гумидной зоне. Здесь все большее применение находят осушительно-увлажнительные системы с использованием, когда это необходимо, дренажного стока на орошение. В аридной зоне новым поколением являются оборотные мелиоративно-увлажнительные системы двойного регулирования.

Мировой опыт водохозяйственных работ и наши многолетние региональные исследования (1975–2018 гг.) подтверждают, что внедрение модернизированных способов регулирования дренажного стока позволяет управлять грунтовыми водами, способствующими внедрению субиригации, и тем самым улучшить мелиоративно-гидрологические условия, водообеспеченность орошаемых земель и, главное, уменьшить интенсивность геологического и увеличить биологический круговорот воды и солей. Яркий пример отрицательного действия приводит И. П. Айдаров, с применением дренажа и особенностью рассоляющего действия связано еще одно важное обстоятельство, на которое никто в свое время не обратил внимания, но которое впоследствии стало причиной конфликта между США и Мексикой. Дело в том, что дренаж резко увеличил интенсивность геологического круговорота

солей, а отвод минерализованных дренажных вод в р.Колорадо привел к ухудшению качества речных вод [8]. Ещё в 1970 г. Н. Н.Веригин и Г. К. Асланов отмечали, что целесообразно создавать подъем уровня до нижней части корнеобитаемого слоя и осуществлять таким образом подземное орошение земель (субиригацию) [9]. Это и есть адаптивно-модернизированная гидро-экологическая технология повышения водоустойчивости орошаемых земель.

По нашим расчетам, стоимость поливной воды на 1 га орошаемых земель республики составляет 40–50 долларов США. В Калифорнии во время острого дефицита воды закупочная цена на воду достигала 125\$ за агрофут, т. е. 1\$ за 1 м<sup>3</sup> [10]. Экономические расчеты показывают, что стоимость оросительной воды, забираемой из каналов и из скважин, почти одинаковы или подземная вода дешевле поверхностной при близком залегании УГВ [11].

Системы двойного регулирования (субиригации) в аридной зоне необходимо осуществлять при пресных грунтовых водах. Уровень их не следует понижать. Наоборот, при таких условиях идет луговой процесс, сопровождающийся накоплением гумуса и улучшением структуры почв. Потребность в оросительной воде в этих случаях снижается в 1,5 – 2 раза. Технико-экономический анализ показал, что при гидрокарбонатном типе засоления почв, без дополнительных профилактических мероприятий, применение субиригации возможно на землях с минерализацией грунтовых вод – 1,5 г/л, а при сульфатном – 2,0 г/л [12]. По достижении грунтовыми водами мелиорируемой территории и минерализации ≤ 2–3 г/л целесообразно начать сокращение оросительных норм и числа поливов за счет субиригации. При опресненности грунтовых вод до 3г/л в толще водоносного горизонта 8–10 м субиригация может составить примерно 50–60% суммарного водопотребления хлопчатника, люцерны. Наземные оросительные нормы можно сократить при этом до 1–3 тыс. м<sup>3</sup>/га [8]. Отдельные исследователи рекомендуют использовать субиригацию при минерализации ГВ до 3г/л [17, 13,14] и – до 7 г/л [15]. При среднем уровне грунтовых вод на супесчаном и песчаном полях, около 1,4 м и 0,7 м, величина подпитки из грунтовых вод составила 12–47% от водопотребления культуры [16]. По исследованиям в Центральной Фергане, за счет полива методом субиригации урожайность хлопка увеличилась на 1,5–3 ц/га, число поливов уменьшилось в 1,5 раза и более [17]. Опыты в Кашкадарьинской области (Касбинский район) определили экономичную оросительную норму, которая составила 3150 м<sup>3</sup>/га и повышение урожайности хлопчатника на 7 ц/га [13]. В Хорезмской области при слабозасоленных грунтовых водах двойное регулирование ГВ позволило уменьшить оросительную норму в 1,2–1,5 раза и повысить урожайность хлопчатника на 6–13 ц/га [18].

Перспективность субиригации обосновывается многими учеными и специалистами [1, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 15, 18–22, 24–40]. Отдельные считают [14], что необходимо более ответственно относиться к контролю и регулированию

уровня грунтовых вод. В то же время специалисты убедительно подчеркивают, что применение подпорных сооружений неизбежно повысит водообеспеченность орошаемых земель (особенно в маловодные годы) за счет увеличения расхода подземных вод на субиригацию. Целесообразность использования данного направления подтверждается экономическими расчетами. Стоимость капиталовложений не превысит 50 долларов, эксплуатационных затрат – 8 долларов США на один гектар. Управление потоком дренажно-сбросных вод не разрушит последовательности выполнения технологических операций по возделыванию сельскохозяйственных культур, уменьшит количество поливов и размеры потери воды на физическое испарение [14]. Как отмечают ученые, дренажно-сбросные воды представляют значительный объем в Центральноазиатском регионе. С одной стороны, это связано со значительными площадями орошаемых земель, более 7.0 млн га только в бассейне Аральского моря, с другой – неэффективностью ирригационных систем, в результате чего только 30–35 % воды, забранной из источников, расходуется продуктивно. Около 40 % воды, забранной из источников, участвует в формировании дренажно-сбросных вод. Учитывая объемы этих вод, следует признать, что проблема продуктивной утилизации этих стоков является весьма актуальной [1].

Ещё прозорливее утверждают ученые-мелиораторы [20]: «Строительство коллекторно-дренажных систем, обеспечивая поддержание уровня грунтовых вод на необходимой глубине, одновременно играет отрицательную роль, так как резко увеличивает интенсивность геологического круговорота и геохимической миграции». Как бы дополняя эту мысль, отдельные исследователи отмечают, что параметры ирригационных систем должны предусматривать не только вымыв солей, но и накопление органо-минеральных соединений в почвах за счет усиления малого биологического круговорота веществ [9].

Это ещё в большей степени требует модернизации дренажной сети. Анализ мелиоративно-гидрологических условий Узбекистана показал, что на орошаемых землях республики возможно внедрение субиригации, это Ташкентская, Ферганская долина, Самаркандская, Кашкадарьинская и Сурхандарьинская области. Исследования показали, что наиболее благоприятными условиями для этого обладают Верхние Природно-водохозяйственные районы Узбекистана – зона пресных грунтовых вод (сазовая зона). По многолетним данным (1965–2017 гг.), минерализация воды в коллекторно-дренажной сети верхних районов изменяется в пределах 0,3–1,8 г/л. Уточнены основные гидрохимические типы ГВ, среди которых преобладающий – сульфатный.

В то же время, как показал анализ динамики ГВ региона, наблюдается иссушение зоны аэрации (почвенная засуха), водообеспеченность этих районов в маловодный год (1925, 1926, 1927, 1941, 1986, 2000, 2001, 2011, 2016, 2018 гг.) колеблется в пределах 52–67%. Идентична картина истощения ГВ, понижение их уровня наблюдается во многих странах мира, прежде всего

в Индии, Ливии, Саудовской Аравии, США. В Северном Китае произошло понижение уровня ГВ более чем на 30 м на территории, где проживает свыше 100 млн. человек. Определено, что 10 % мирового урожая зерновых производится с использованием ГВ [21].

Мы придерживаемся того мнения, что в ряде районов снижение уровня грунтовых вод и уменьшение объёма испарения может привести к нежелательным изменениям общих ландшафтных условий. По рекогносцировочным обследованиям (1975–2018 гг.) верхнего и среднего ПВХР установлено резкое высыхание отдельных садов и виноградников, основной причиной которого является уменьшение водообеспеченности, понижение уровня ГВ ниже критического интервала, что привело к ухудшению мелиоративно-гидрологических условий зоны аэрации.

Учитывая практику гиперирригации прошлых лет, пресный характер грунтовых вод и превалирование сульфатных солей в ГВ верхних и средних районов юга Узбекистана, в целях экономии водных ресурсов, регулирования водно-воздушного и водно-солевого режимов и улучшения гидроэкологических условий орошаемых земель, считаем необходимым мероприятием внедрение субиригации.

Подобного рода дренаж можно назвать саморегулирующее. Термин и первые конструкции водооборотных осушительно-увлажнительных систем, как отмечает К. В. Губер [22], предложены И. В. Минаевым (1977).

Регулирование стока поверхностных вод с целью рационального их использования в значительной степени исследовано. В то же время вопросы управления подземным стоком, химическим составом и режимом подземных вод разработаны еще недостаточно. Это зачастую приводит к крупным просчетам в гидромелиоративном строительстве.

В некоторых отраслях гидрогеологии имеется положительный опыт управления подземными водами. Например, в нефтяной гидрогеологии попутные нефтяные воды успешно используются для поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи пласта. В соляной гидрогеологии разработаны эффективные методы борьбы с соляным карстом и прорывами воды в горные выработки при разработке месторождений калийных солей и т. д.

В данной статье рассматриваются специфические вопросы управления подземными, в основном, грунтовыми водами на орошаемых землях.

Задача управления водным режимом корнеобитаемого слоя почвы является частной, хотя и одной из наиболее важных задач управления факторами среды с целью создания оптимальных условий для роста и развития растений. Решение этой проблемы осложняется с одной стороны, недостаточной изученностью частных почвенных режимов, особенно в их взаимодействии, и, с другой стороны, отсутствием технически совершенных мелиоративных систем, способных управлять совокупностью почвенных факторов и процессов.

Процессы динамики влаги, воздуха и питательных элементов в почве определяют водный, воздушный, тепловой, энергетический и пищевой ре-

жимы. Среди них наиболее изучены в настоящее время вопросы совместного влияния на урожай водного и воздушного режима почв.

Как уже отмечалось выше, водный режим почв является одним из основных. Поэтому до настоящего времени мелиоративные системы (дренажные, оросительные или комбинированные) проектируются, в основном, исходя из параметров водного режима почвенного и подпочвенного слоев. Параметры остальных режимов используются лишь в качестве дополнительных и корректирующих.

В наибольшей степени условиям управления водным режимом, удовлетворяют дренажно-увлажнительные системы (двойного регулирования). Подобного рода дренаж можно назвать саморегулирующейся. Аналогичный результат получится, если по длине дренаж установить каскад порогов (или водосливов) с прорезями.

Предлагаемое устройство для регулирования дренажного стока, устанавливается на основе расчета и включает в себя регулирующий орган, выполненный в виде порога с продольными прорезями, отличающимися тем, что с целью обеспечения саморегулирования стока, суммарная площадь прорезей уменьшается по глубине.

Многолетними исследованиями А. Шольца на песчаных почвах с коэффициентом фильтрации 13–17 м/сут в Германии установлена зона эффективного подпора при шлюзовании, равная 200 м [32].

Таким образом, можно осуществлять управление (менеджмент) поверхностными и подземными, в частности грунтовыми, водами. И как подчеркивают шведские учёные, под словом «менеджмент» следует понимать все меры по созданию и поддержанию системы устойчивого использования грунтовых вод, как в качественном, так и в количественном аспектах. Лучше, чем Эрик Эрикссон и Сиверт Йоханссон, наверное, не скажешь, разведывание, использование и управление грунтовыми водами – постоянные процессы, обеспечивающие потребности в воде настоящего и будущих поколений и исправляющие ошибки прошлого [23].

На примере реки Кашкадарья выявлено, что в нижней части по многолетним данным (1938–2017 гг.) гидропоста Больничный в невегетационный период сток составляет около 200 млн. м<sup>3</sup>. Они сбрасываются в искусственные озера и загрязняют окружающую среду. Помимо этого, эти холодные сбросы усиливают русловую эрозию.

Резюмируя следует отметить, что регулирование стока рек и оросителей в этих районах необходима не только для улучшения гидроэкологических условий, повышения водообеспеченности сельскохозяйственных культур, но и для полного осуществления процесса ирригации через гипер – и субиригацию, увеличения биологического и уменьшения геологического круговорота веществ. Данные устройства рекомендуются сооружать

на речной и ирригационно-мелиоративной сети с целью интегрированного управления водными ресурсами как меры по адаптации к изменению климата

Опыт подтвердил, что устройство следует устанавливать не в единичном, а в каскадном порядке. Тогда экономический эффект сооружения, связанный с явлением субиригации на орошаемых землях, увеличивается с ростом площадей, на которых происходит подъём уровня грунтовых вод.

Многолетние исследования (1975–2012 гг.) подтвердили, что в связи с изменением климата сопровождающийся учащенными засухами как атмосферы, так и почвы (ожидается, что в следующие 50 лет температура в Узбекистане повысится на 2–3 градуса [24]), появилась необходимость наряду с регулированием стока дренажной сети устраивать идентичные сооружения для регулирования стока рек и оросителей в каскадном виде.

Субиригация предотвращает рассоление и появление содового засоления. Её можно рекомендовать и для подпитки озимой пшеницы при слабоминерализованных (менее 3 г/л) грунтовых водах.

Резюмируя, следует считать, что субиригация в этих районах необходима не только для улучшения мелиоративно-гидрологических и гидроэкологических условий, повышения водообеспеченности сельскохозяйственных культур, но и для полного осуществления процесса ирригации совместно с гиперирригацией, увеличения биологического и уменьшения геологического круговорота веществ. Данные устройства рекомендуются сооружать на оросительной и речной сетях с целью управления стоком и выработки электроэнергии, т. е. для водоустойчивого ведения работ путем интегрированного управления водными ресурсами (рисунок).



Эффективность субиригации в аридной зоне

## Литература

1. Караджи Ф., Мухамеджанов В., Вышпольский Ф. Совместное использование поверхностных и грунтовых вод на орошении – стратегия преодоления засоления почв и дефицита воды // *Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз: ИЦ «АКВА», 2002. С. 28–38.*
2. Мухамадьярова Л. Максимум урожая, минимум водопотерь // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. 2009. № 1. С. 18.*
3. Савельев В. Ю. Экологический менеджмент. М.: Логос, 2001. 126 с.
4. Пыленок П. И. Обоснования водооборотных мелиоративных технологий // *Сб. науч. трудов ВНИИГиМ РАСХН. Рязань, 2004. С. 148*
5. Данилов-Данильян В. И., Хранович И. Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.
6. Парфенова Н. И., Исаева С. Д., Рыбина Н. Н., Бондарик И. Г. Взаимосвязь поверхностных и подземных вод при мелиорации и экологическая устойчивость природных систем // *Мелиорация и водное хозяйство. Москва, 2009. № 5. С. 35–38.*
7. Чембарисов Э. И., Жакыпова А. Ж. Общая характеристика коллекторно-дренажных вод Республики Каракалпакстан // *Сб. науч. трудов САНИИРИ. Ташкент, 2003. С. 32–37.*
8. Ковда В. А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука, 2008. 415 с.
9. Веригин Н. Н., Васильев С. В., Куранов Н. П., Саркисян В. С., Шульгин Д. Ф. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. М.: Колос, 1979. 336 с.
10. Джалалов С. Ч. Водные банки США // *Экологический вестник. Ташкент, 2001. № 1. С. 9–12.*
11. Джуманов Ж. Х., Чертков Ю. Т., Джуманов А.Х. Подземные воды – резерв для орошения фермерских хозяйств Ферганской долины // *Материалы Респ. научно – практ. конф. Ташкент: АН РУз., 2009. С. 59–63.*
12. Осушительно-увлажнительная мелиоративная система: пат. № 2233075 Рос. Федерация: ПМК А01G / П.И.Пыленок, В.В. Бородычев, А.М. Салдаев. – № 2003104219/12; заявл.12.02.03; опубл. 27.07.04.
13. Исаев С., Ражабов Т. Такирсимон тупроклар шаронтида субирригация усулида суғрилганда ғўза хосилдорлигига таъсири // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. Тошкент, 2008. № 3. С. 11–12.*
14. Суванов Б., Машарипов Ж. Ғўзани субирригация усулида суғориш // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. Ташкент, 2008. № 12. С. 14.*
15. Койбакова Е. Оросительные нормы при орошении водой повышенной минерализации // *Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз: ИЦ АКВА, 2002. С. 110–118.*
16. Крылов М. М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана. Ташкент: АН РУз, 1959. 236 с.
17. Исаев С. Субирригация // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. Тошкент, 2007. № 1. С. 12.*
18. Джалилова Т., Маткаримов Ж. Изучение влажностного режима почв при двойном регулировании в целях экономии воды в условиях Хорезмского оазиса // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. Ташкент, 2008. № 3. С. 38–40.*
19. Айдаров И. П., Голованов А. И. Мелиорация земель в России: Научное обоснование, современный подход // *Мелиорация и водное хозяйство. Москва, 2005. №5. С. 22–27.*
20. Пыленок П. И., Бородычев В. В., Салдаев А. М. Осушительно-увлажнительная мелиоративная система // *Государственное патентное ведомство РФ. Свидетельство № 2233075. опубл. 27.07.2004.*
21. Гранат О., Магнуссон К., Мальмквист И. Менеджмент грунтовых вод. // *Менеджмент речного бассейна. Минск: Технопринт, 2000. Т.3. С. 97–112.*
22. А.С. 990952. Устройство для регулирования дренажного стока / Валуконис Г.Ю., Мурадов Ш.О. // 1980.
23. Эрикссон Э., Йоханссон С. Гидрология грунтовых вод // *Водный ландшафт. Минск: Технопринт, 2000. Т.1. С. 89–101.*
24. William R., Sutton, Jitendra P., Srivatsava and James E. Neumann. International bank for reconstruction and development / *The World bank 1818 H street NW, Washington DC 20433. 2013 y. 201p.*
25. Вагапов Р. Управление водораспределением на ирригационных системах водоснабжения // *Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз, 2002. С. 67–79.*
26. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.: ОНТИ, 1934. 450 с.
27. Вышпольский Ф., Мухамеджанов Х. Опыт использования лизиметров для корректировки режимов орошения сельскохозяйственных культур // *Сб. науч. трудов. Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз, 2002. С. 139–149.*
28. Губин В. К., Максименко В. П., Храбров М. Ю. Пути совершенствования осушительно-увлажнительных систем // *Мелиорация и водное хозяйство. 2016. №1. С. 32–36*
29. Каримов А., Мирзаджанов К., Исаев С. Повышение продуктивности использования водных ресурсов на уровне фермерских хозяйств // *Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз: ИЦ «АКВА», 2002. С. 38–49.*
30. Кузнецов М. С., Глазунов М. С. Эрозия и охрана почв. М.: Москва. ун-т, 1996. 334 с.
31. Максименко В. П., Соломина А. П., Айриян Н. В. Совершенствование гидро-мелиоративных систем в регионах избыточного природного увлажнения // *Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 5–6. С. 32–33*
32. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я. Осушительно-увлажнительные системы. М.: Колос, 1981. 280 с.
33. Мурадов Ш. О., Валуконис Г. Ю. Прогноз изменения химического состава грунтовых вод Каршинской степи при орошении // *Гидротехника и мелиорация. 1982. № 7. С. 73–75.*
34. Мурадов Ш. О., Мурадов О. Д. Кашкадарё экологияси ва экономикаси. *Узбекистон Р. табиатни муҳофаза қилиш жамиятининг Кашкадарё вилоят булими. Карши, 1991. 48 с.*
35. Сапаров А., Вышпольский Ф. Технология стабилизации сельско-хозяйственного производства на ирригационных системах неустойчивого водоснабжения // *Материалы международного семинара ИКАРДА. Тараз: ИЦ «АКВА», 2002. С. 55–66.*
36. Степанова Т. Г. Повышение сопротивляемости орошаемых земель к смыву путём оструктурирования // *Мелиорация и водное хозяйство. Москва, 2008. №2. С. 50–51.*
37. Суванов Б., Машарипов Ж. Ғўзани субирригация усулида суғориш // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. Ташкент, 2008. № 12. С. 14.*
38. Форкуца И., Широкова Ю., Зоммер Р. Влияние близкозалегающих грунтовых вод на урожай хлопка // *О'zbekiston qishloq xo'jaligi. Ташкент, 2006. № 9. С. 26–27.*
39. Чембарисов Э. И., Жакыпова А. Ж. Общая характеристика коллекторно-дренажных вод Республики Каракалпакстан // *Сб. науч. трудов САНИИРИ. Ташкент, 2003. С. 32–37.*
40. Якубов М. А., Якубов Х. И., Кудратов Т. У. Управление водными ресурсами на уровне хозяйств и пути снижения нагрузок на дренаже // *Сб. науч. тр. НПО САНИИРИ. Ташкент, 2001. Т. 3. С. 77–84.*

## УДК 628.29

Ольга Константиновна Новикова,  
канд. техн. наук, доцент  
Алла Брониславовна Невзорова,  
д-р техн. наук, профессор  
(Белорусский государственный  
университет транспорта)  
E-mail: olanov2007@mail.ru,  
anevzorova@mail.ru

Olga Konstantinovna Novikova,  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
Alla Bronislavovna Nevzorova,  
Dr of Tech. Sci., Professor  
(Belarusian State  
University of Transport)  
E-mail: olanov2007@mail.ru,  
anevzorova@mail.ru

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПЛОЩАДОК ПРЕДПРИЯТИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

#### FEATURES OF FORMING THE QUALITATIVE COMPOSITION OF SURFACE WASTEWATER WATERS FROM THE PLANTS OF AGRICULTURAL MACHINERY ENTERPRISES

В статье приводится обобщение данных загрязненности дождевых и талых сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения, которые необходимы как для проектирования локальных очистных сооружений, так и для установления оценки антропогенной нагрузки на природные водные объекты (приёмники данной категории сточных вод). Приведены результаты собственных экспериментальных исследований качественного состава дождевых и талых сточных вод. Проведена дифференциация площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения по характеру технологических процессов. Для каждой группы площадок определены концентрации загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод, дана оценка качественного состава в теплый и холодный период.

*Ключевые слова:* поверхностные сточные воды, показатели качества, формирование состава, загрязняющие вещества, водный объект.

The article summarizes the contamination of rain and thawed sewage from the sites of agricultural engineering enterprises, which are necessary both for designing local treatment facilities and for establishing anthropogenic load on natural water bodies (receivers of this category of sewage). The results of our own experimental studies of the qualitative composition of rain and melt sewage are presented. Differentiation of sites of enterprises of agricultural machine-building by the nature of technological processes is carried out. For each group of sites, the concentrations of pollutants in the composition of surface wastewater are determined, and the qualitative composition is evaluated in the warm and cold period.

*Keywords:* surface sewage, quality indicators, composition, pollutants, water body.

Водные объекты в настоящее время испытывают огромные антропогенные нагрузки, в том числе в местах выпуска сточных вод. Одним из существенных рассредоточенных источников загрязнения водных объектов является поверхностный сток с урбанизированных территорий, который подразделяется на сток с селитебной территории и сток с площадок промышленных предприятий [1].

Загрязнение водных объектов поверхностными стоками с урбанизированных территорий приводит к интенсивному ухудшению качества воды, в результате чего, в конечном счете, происходит сокращение продуктивности объектов рыбного хозяйства, а также, в ряде случаев, повреждение объектов инфраструктуры городов [2]. Существенное влияние на состояние кислородного режима водного объекта оказывают нефтепродукты, которые, образуясь на водной поверхности в виде пленки, препятствуют процессу аэрации [3].

Дождевые и талые сточные воды с площадок промышленных предприятий имеют, как правило, более сложный состав, чем с территории города, а в качественном составе стока с территорий предприятий одной отрасли много общего. Поверхностные сточные воды с территорий промышленных предприятий в значительной мере загрязнены взвешенными веществами, нефтепродуктами. Содержание специфических примесей и тяжелых металлов определяется характером производства [4]. В «Рекомендациях по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты» промышленные предприятия и отдельные их территории разделены на две группы в зависимости от состава примесей, накапливающихся на площадках и смываемых поверхностными сточными водами [5]. Для каждой группы установлены расчетные концентрации загрязняющих веществ в поверхностных сточных водах, но изменяющиеся в достаточно больших пределах.

Поверхностные сточные воды с площадок предприятий машиностроения имеют свои специфические особенности и отличия от поверхностного стока с городской территории. Эти отличия обусловлены технологическими процессами производства, складированием используемых материалов и готовой продукции, повышенной интенсивностью движения автотранспорта, большим процентом водонепроницаемых поверхностей, планировочными работами на территории предприятия и т. д. Кроме того, на многих предприятиях сельскохозяйственного машиностроения предусмотрена раздельная схема отведения поверхностных сточных вод с территорий основного и вспомогательного производств [6].

Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение Республики Беларусь объединяет 58 предприятий и производств. Прежде всего, это ПО «Минский тракторный завод», холдинг «Гомсельмаш», включающий крупнейшее предприятие сельскохозяйственного машиностроения, «Бобруйскгазомаш».

Предприятия сельскохозяйственного машиностроения отличаются значительным ассортиментом продукции. Заводы холдинга «Гомсельмаш» специализируется на выпуске кормоуборочной, зерноуборочной и льноуборочной техники, прицепных, полунавесных и навесных кормоуборочных комбайнов, и запасных частей к ним и производят более ста наименований товаров народного потребления.

Широкий ассортимент выпускаемой продукции предопределяет наличие разнородных производств: цветное литье, плавка чугуна, горячая высадка и штамповка металла, гальваническое, окрасочное, сварочное, механическое, механосборочное, сборочное и т. п.

С целью установления закономерностей формирования качественного состава поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения в 2006–2014 гг. проведены исследования, включающие:

– анализ ретроспективных данных (за 2000–2014 гг.) гидрохимических лабораторий предприятий сельскохозяйственного машиностроения и отделов аналитического контроля Минприроды;

– собственные экспериментальные исследования дождевых и талых сточных вод с двух площадок ОАО «Гомельский завод литья и нормалей», включающие предметно-ориентированные отборы проб (в летний и весенний периоды 2006–2008 гг., 2013–2014 гг.) с анализом гидрохимических показателей по основным ингредиентам (БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, нефтепродукты, азот аммонийный, фосфаты, железо общее, цинк, никель).

Экспериментальным отборам проб предшествовал факторный анализ, базирующийся на изучении схем дождевой канализации двух площадок предприятия и технологических процессов производства в корпусах, и определение наиболее репрезентативных точек отбора проб:

Т.1 – колодец сбора поверхностных сточных вод с территории корпуса литья;

Т.2 – колодец сбора поверхностных сточных вод с территории корпуса нормалей;

Т.3 – вход на очистные сооружения площадки основного производства (площадка 1);

Т.4 – выпуск с очистных сооружений площадки 1;

Т.5 – вход на очистные сооружения площадки вспомогательных производств (площадка 2);

Т.6 – выпуск с очистных сооружений площадки 2.

Для установления соотношений между степенью загрязненности дождевых сточных вод с площадки основного и вспомогательного производств в различных фазах формирования поверхностного стока проведена серия экспериментальных исследований: выполнены отборы дифференциальных проб в начале формирования поверхностного стока (в течение 5 минут с момента начала дождя), в конце дождя (через 35–50 мин) и интегральных проб в контролируемых точках [7, 9]. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Результаты экспериментальных исследований качественного состава талых сточных вод с площадок основного и вспомогательного производств приведены в табл. 2.

Во всех точках отбора концентрации загрязняющих веществ к концу дождя снижаются на 70–85 %.

Таблица 1

**Качественный состав дождевых сточных вод (результаты экспериментальных исследований)**

Точки отбора	Концентрации загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>					
	взвешенные вещества	нефтепродукты	азот аммонийный	фосфаты	железо общее	цинк
<b>Корпуса литья (Т.1)</b>						
Т.1 начало формирования поверхностного стока (дифференциальная проба)	85–175	3,7–5,8	1,4–2,5	0,35–0,48	3,4–4,3	0,19–0,31
Т.1 конец дождя (дифференциальная проба)	18–43	0,6–1,1	0,4–0,9	0,07–0,12	0,6–1,3	0,06–0,11
Т.1 интегральная проба	55–98	2,35–3,5	0,8–1,7	0,2–0,3	2,0–2,8	0,13–0,21
<b>Корпус нормалей (Т.2)</b>						
Т.2 начало формирования поверхностного стока (дифференциальная проба)	158–238	6,1–12,7	3,5–4,8	0,5–0,83	6,4–7,9	0,49–0,72
Т.2 конец дождя (дифференциальная проба)	35–57	0,9–3,5	0,7–2,3	0,13–0,28	1,2–3,1	0,18–0,33
Т.3 интегральная проба	92–145	3,5–8,2	2,1–3,6	0,31–0,62	3,9–5,5	0,39–0,51
<b>Площадка основного производства (Т.3, Т.4)</b>						
Т.3 начало формирования поверхностного стока (дифференциальная проба)	132–196	5,5–10,3	2,1–3,7	0,4–0,52	3,9–5,2	0,38–0,57
Т.3 конец дождя (дифференциальная проба)	28–45	0,8–2,7	0,52–0,95	0,1–0,21	0,7–2,5	0,09–0,26
Т.3 интегральная проба	80–103	3,3–6,5	0,9–4,3	0,2–0,36	2,2–3,8	0,22–0,41
Т.4 интегральная проба	8,2–10,5	0,5–1,3	0,8–1,8	0,17–0,31	0,6–1,3	0,20–0,38
Средняя эффективность очистки Э, %	90	87	31	8	69	8
<b>Площадка вспомогательного производства (Т.5, Т.6)</b>						
Т.5 начало формирования поверхностного стока (дифференциальная проба)	87–142	3,1–8,3	1,2–2,5	0,33–0,44	2,4–4,8	0,27–0,45
Т.5 конец дождя (дифференциальная проба)	12–23	0,5–2,1	0,3–0,7	0,08–0,15	0,4–0,6	0,05–0,13
Т.6 интегральная проба	48–77	1,8–5,2	0,7–1,6	0,21–0,3	1,4–2,7	0,18–0,29
Т.6 интегральная проба	4,9–7,8	0,4–1,1	0,5–1,2	0,2–0,27	0,5–1,8	0,17–0,27
Эффективность очистки Э, %	90	87	28	8	67	6



По большинству показателей загрязненность талых сточных вод выше, чем дождевых, исключение составляет азот аммонийный, концентрации которого в составе дождевых сточных вод превышают концентрации в талых сточных водах, что также установлено Е. П. Овчаровой [8] в исследованиях поверхностного стока с территории г. Минска в зависимости от периодов формирования

Таблица 2

**Качественный состав талых сточных вод (результаты экспериментальных исследований)**

Наименование показателей	Площадка основного производства			Площадка вспомогательного производства		
	Т.3 интегральная проба	Т.4 интегральная проба	Э*, %	Т.5 интегральная проба	Т.5 интегральная проба	Э*, %
БПК <sub>5</sub>	32,5–37,8	4,7–5,6	85	25,8–32,1	3,8–5,5	84
Взвешенные вещества	90,1–135,5	11,7–17,8	87	49,7–114,2	7,5–17,1	85
Нефтепродукты	4,1–11,3	0,7–1,9	84	2,3–9,2	0,6–1,4	84
Азот аммонийный	1,1–2,5	0,8–1,8	28	0,65–1,85	0,46–1,30	29
Фосфаты	0,28–0,51	0,27–0,55	5	0,23–0,44	0,22–0,42	5
Железо общее	7,2–9,1	2,6–4,4	63	2,3–6,2	0,83–2,17	64
Цинк	0,13–2,5	0,12–2,3	9	0,09–0,21	0,08–0,20	8

\* Э, % – средняя эффективность работы очистных сооружений.

Максимальные значения концентраций загрязняющих веществ в составе дождевых (табл. 1) и талых сточных вод (табл. 2) характерны для площадок, где расположены гальванические цеха и производства, связанные с горячей высадкой и штамповкой металлов, а также осуществляется интенсивное движение транспорта между корпусами, а минимальные – для площадок, где расположены цеха, технологический процесс производства которых включает холодную высадку металла, различные виды механической обработки [6, 10]. На основании вышеизложенного была проведена дифференциация площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения по характеру технологических процессов. К площадкам группы А относятся площадки, на которых сосредоточены производства, связанные с горячей высадкой и штамповкой металла (цветное, алюминиевое, центробежное литье), сварочное, окрасочное, гальваническое производство (цинкование, хромирование, никелирование, фосфатирование, оксидирование, пассивирование), склады горюче-смазочных материалов, а также осуществляется интенсивное движение транспорта. Для площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения группы Б характерны производства холодной

высадки и штамповки металла, различных видов механической обработки, вспомогательные производства (инструментально-штамповое, экспортное, экспериментальное), размещение складов готовой продукции и служб предприятия.

Для каждой группы площадок определены числовые характеристики концентраций загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод: экстремальные значения (минимальные и максимальные), математическое ожидание (среднее значение), доверительный интервал и интервалы наиболее вероятных значений (табл. 3) [6, 10]. Исходную информационную базу для анализа качественного состава поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения составили эпизодические данные гидрохимических лабораторий предприятий и результаты собственных экспериментальных исследований (249–257 значений по каждому из рассматриваемых показателей для каждой площадки). С использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона установлена неоднородность статистических рядов, что обусловлено различными факторами, влияющими на формирование качественного состава поверхностных сточных вод: сезонность изменения концентраций, количество дней сухой погоды предшествующих отбору проб, период отбора проб (т. е. фаза дождя, в которой отобраны пробы) и т. п.

Интервалы наиболее вероятных значений по каждому из рассматриваемых показателей не превышают средние значения, что объясняется высокими максимально разовыми значениями, которые не были исключены из информационной базы для анализа и существенно повлияли на величину средних значений.

Диапазоны изменения концентраций в поверхностных сточных водах значительные. Наибольшие значения интервалов соответствуют концентрациям в поверхностных сточных водах, формирующихся от небольших по количеству осадков дождей, с большим промежутком времени, предшествующем выпадению осадков (свыше 10 дней). Наименьшие – концентрациям в поверхностных сточных водах, формирующихся от дождей со значительным количеством осадков (свыше 10 мм), с небольшим промежутком времени, предшествующем выпадению осадков (до 3 дней).

За расчетные концентрации при проектировании очистных сооружений оценке антропогенной нагрузки рекомендуется принимать верхнюю границу доверительного интервала средних значений.

По периодам формирования поверхностных сточных вод имеют существенные отличия (табл. 4, 5): в холодный период (с ноября по март) концентрации взвешенных веществ, нефтепродуктов, железа общего, цинка выше, чем в теплый (с апреля по октябрь) в среднем в 1,1–1,6 раза; значения концентраций БПК<sub>5</sub> и азота аммонийного в теплый период в среднем в 1,2–1,6 раза выше, чем в холодный; незначительные изменения по периодам формирования отмечаются по фосфатам и никелю.

Таблица 3

Качественные показатели загрязненности поверхностных сточных вод с территорий предприятий сельскохозяйственного машиностроения, мг/дм<sup>3</sup>

Наименование показателей	Концентрации загрязняющих веществ		
	экстремальные значения	интервалы наиболее вероятных значений	средние значения и доверительный интервал
Площадки группы А			
БПК <sub>5</sub>	27–110	30–40	48,9±7,6
Взвешенные вещества	43–280	100–110	137,4±5,7
Нефтепродукты	0,8–25	3,2–3,4	4,0±0,5
Азот аммонийный	0,3–6,0	0,8–1,0	1,6±0,1
Фосфаты	0,1–0,8	0,2–0,3	0,33±0,1
Железо общее	0,2–9,4	1,0–2,0	2,9±0,2
Цинк	0,01–4,5	0,175–0,2	0,27±0,07
Никель	0,005–0,2	0,015–0,02	0,023±0,002
Площадки группы Б			
БПК <sub>5</sub>	7,5–70	20–30	37,0±5,0
Взвешенные вещества	24–180	80–90	90,5±4,7
Нефтепродукты	0,6–19	1,6–1,8	3,2±0,5
Азот аммонийный	0,2–4,0	0,4–0,6	1,48±0,1
Фосфаты	0,08–0,6	0,1–0,2	0,29±0,06
Железо общее	0,4–7,0	1,0–1,25	2,4±0,3
Цинк	0,01–0,9	0,15–0,175	0,16±0,02
Никель	0,005–0,1	0,01–0,015	0,019±0,002

Таблица 4

Экстремальные и средние значения концентраций загрязняющих веществ, мг/дм<sup>3</sup>, в поверхностных сточных водах в теплый период

Наименование показателей	Площадки группы А		Площадки группы Б	
	экстремальные значения	средние значения	экстремальные значения	средние значения
БПК <sub>5</sub>	27,23–110,6	55,13	25,8–70,20	41,87
Взвешенные вещества	43,20–240,5	131,57	24,5–168,9	85,73
Нефтепродукты	0,83–23,75	3,20	0,83–18,75	3,16
Азот аммонийный	0,50–5,90	1,67	0,25–3,73	1,56
Фосфаты	0,13–0,73	0,33	0,08–0,60	0,29
Железо общее	0,26–9,05	2,64	0,48–6,80	2,20
Цинк	0,01–4,00	0,25	0,01–0,88	0,15
Никель	0,005–0,058	0,023	0,005–0,083	0,019

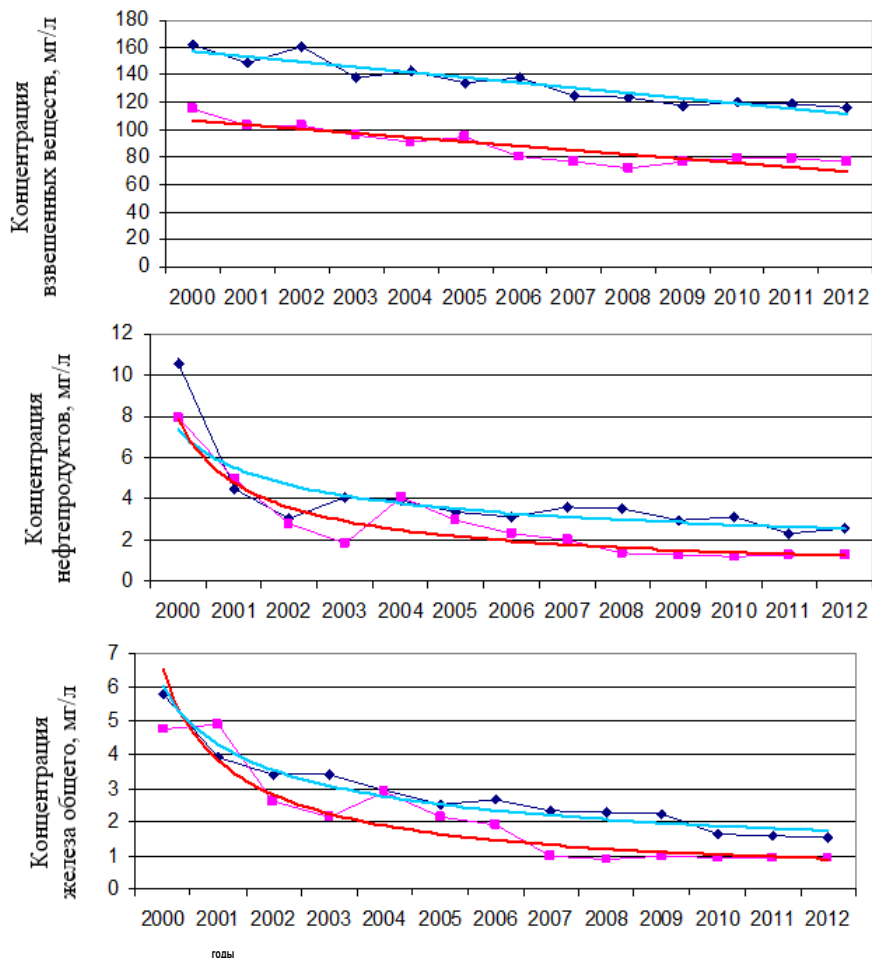
Таблица 5

Экстремальные и средние значения концентраций загрязняющих веществ, мг/дм<sup>3</sup>, в поверхностных сточных водах в холодный период

Наименование показателей	Площадки группы А		Площадки группы Б	
	экстремальные значения	средние значения	экстремальные значения	средние значения
БПК <sub>5</sub>	30,47–40,68	34,22	25,47–34,20	25,47
Взвешенные вещества	89,5–280,9	145,23	46,4–178,5	98,34
Нефтепродукты	1,00–25,0	5,19	0,67–17,50	3,25
Азот аммонийный	0,30–3,62	1,43	0,25–3,50	1,33
Фосфаты	0,23–0,70	0,34	0,19–0,51	0,30
Железо общее	0,26–9,35	3,22	0,48–7,00	2,63
Цинк	0,01–4,50	0,29	0,01–0,35	0,16
Никель	0,005–0,197	0,023	0,005–0,05	0,018

Качественный состав поверхностного стока урбанизированных территорий подвержен значительным колебаниям. Исследование его динамики, определение возможных закономерностей и причин этих колебаний удобно проводить с привлечением математического аппарата анализа временных рядов [11]. Динамика загрязненности поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения (рисунок) дана на основе группировки исходной выборки по годам и определения среднегодовых значений концентраций загрязняющих веществ для каждой группы площадок. По всем показателям наибольшие среднегодовые значения отмечены в 2000 году и заметно снижаются к 2012 году. Такая тенденция снижения сохранялась и на протяжении последних пяти лет с 2013 и по настоящее время и обусловлена улучшением культуры производства, сведением к минимуму аварийных проливов в цехах и на территории предприятия, проведением постоянных профилактических осмотров оборудования.

Таким образом, установлены расчетные концентрации загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения равные верхней границе доверительного интервала средних значений, которые могут быть использованы для оценки антропогенной нагрузки на природные водные объекты от данной категории сточных вод и при проектировании локальных очистных сооружений поверхностных сточных вод.



—♦— среднегодовая концентрация загрязняющего вещества в составе поверхностных сточных водах с площадок группы А;  
 —■— среднегодовая концентрация загрязняющего вещества в составе в поверхностных сточных водах с площадок группы Б;  
 — линия тренда среднегодовых концентраций в поверхностных сточных водах с площадок группы А;  
 — линия тренда среднегодовых концентраций в поверхностных сточных водах с площадок группы Б

Динамика среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения

Литература

- Невзорова А. Б., Новикова О. К., Белоусова Г. Н. Водоснабжение и водоотведение сельских территорий: монография; М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель: БелГУТ, 2015. 265 с.
- Ким А. Н., Михайлов А. В., Графова Е. О. Технические аспекты поверхностного стока с урбанизированных территорий: монография; СПб: СПбГАСУ, 2017. 200 с.
- Integrated Urban Water Management in Cold Climate: Book of abstracts of 1st UNESCO IHP VI Workshop, NTNU, Trondheim, 2005. 104 p.
- Алексеев, М. И., Курганов А. М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированной территории: Учебное пособие для вузов; Москва; Санкт – Петербург: АСВ, 2000. 352 с.
- Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с сельских территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты; Москва: ОАО "НИИ ВОДГЕО", 2014. 88 с.
- Колобаев А. Н., Новикова О. К. Использование закономерностей формирования качества дождевых и талых вод с территорий предприятий при их отведении и очистке // Строительная наука и техника: научно-технический журнал. М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2009. № 4 (25). С. 67–71.
- Колобаев А. Н., Новикова О. К. Загрязненность поверхностного стока с территорий предприятий сельскохозяйственного машиностроения // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Прикладные науки. 2007. № 6. С. 162–167.
- Овчарова, Е. П. Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): автореферат дис. канд. геогр. наук: специальность 25.00.36 / Е. П. Овчарова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии. Минск, 2006. 22 с.
- Колобаев, А. Н., Новикова О. К. Учет особенностей формирования качества поверхностного стока с территорий предприятий сельскохозяйственного машиностроения при строительстве и эксплуатации очистных сооружений // Вестник БНТУ: науч.-техн. журнал. Белорусский национальный технический университет, 2009. № 5. С. 12–17.
- Новикова О. К., Новикова О. К., Ковалева О. Э., Презова Т. Н. Мониторинг поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения // Materiály IX mezinárodnívědecko-praktickákonference «Věda a vznik». – Díl 32. Vystavba a architektura: Praga. Publishing House «Aducation and Science» s.r.o – 112 stran.
- Палагин Е. Д. Исследование динамики состава поверхностного стока урбанизированных территорий // Водоснабжение и санитарная техника: Ежемес. науч.-техн. и прои. журн. Союзводоканалпроект и др. М.: ООО "Изд-во ВСТ", 2018. №1. С. 51–56.

## УДК 628

Евгений Дмитриевич Палагин,  
канд. техн. наук, доцент  
Марина Александровна Гриднева,  
канд. техн. наук, доцент  
Павлина Григорьевна Быкова,  
доцент  
(Академия строительства и архитектуры  
Самарского государственного технического  
университета)  
E-mail: kafvv@mail.ru

Evgeny Dmitrievich Palagin,  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
Marina Alexandrovna Gridneva,  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
Pavlina Grigorovna Bykova  
Associate Professor,  
(Samara State Technical University,  
Architecture and Civil Engineering  
Academy)  
E-mail: kafvv@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА КАЧЕСТВО ИСХОДНОЙ ВОДЫ НАСОСНО ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ Г. САМАРЫ

### STUDY OF THE IMPACT OF SURFACE RUNOFF ON QUALITY SOURCE WATER OF THE PUMPING AND FILTERING STATION IN TERMS OF THE CITY OF SAMARA

В работе приводятся результаты исследования взаимосвязи качества исходной воды, поступающей на насосно-фильтровальную станцию №1 г. Самары и характеристики поверхностного стока, отводимого в этот же водный объект выше по течению. Приводятся данные по качеству исходной воды НФС №1 г. Самары по 5 показателям (перманганатная окисляемость, мутность, взвешенные вещества, цветность, марганец), а также характеристика поверхностного стока по 9 показателям (БПК<sub>полн</sub>, взвешенные вещества, группа азота, фосфаты, железо (общее), нефтепродукты, АСПАВ). С использованием аппарата математической статистики определены регрессионные зависимости между отдельными показателями исходной воды. Установлено, что мутность и цветность источника водоснабжения связана с отдельными качественными показателями поверхностного стока. Оценена степень этой связи, предложены расчетные зависимости.

*Ключевые слова:* источники водоснабжения, показатели качества воды, поверхностный сток, насосно-фильтровальная станция.

In work it is given results of a research of interrelation of quality of initial water of Samara arriving on filtration station No. 1 (NFS №1) and characteristics of the surface sewage which comes to the same water object above on a current. Data are provided on quality of the NFS No. 1 initial water of Samara on 5 indicators and also the characteristic of a superficial drain on 9 indicators are provided. With use of the device of mathematical statistics regression dependences between separate indicators of initial water are defined. It is established that the turbidity and chromaticity of a source of water supply is connected with separate quality indicators of a surface sewage. Extent of this communication is estimated, settlement dependences are offered.

*Keywords:* water supply sources, indicators of quality of water, superficial drain, pump filtration plant.

Поверхностный сток считается одним из основных источников загрязнения, под воздействием которого происходит формирование качественного

состава водных объектов [1, 2], в том числе являющихся источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения [3].

Качественный состав поверхностного стока достаточно изучен [4-6]. Он имеет определенные сезонные закономерности [7-11], характерные для определенной местности. В количественном отношении, формирование поверхностного стока зависит от климатических условий [12, 13] и характеристики площади водосбора [14, 15]. При этом в условиях современных городов наблюдается увеличение расходов стока при росте их урбанизации [16, 17].

Разрабатываемые технические решения по защите водных объектов от загрязнения поверхностным стоком основанные на их технико-экономической и экологической эффективности [18] не учитывают в полной мере непосредственное влияние рассматриваемых источников на системы водоснабжения. При этом выбор технологических схем очистки поверхностного стока производится на основе выбора диктующих ингредиентов [19], в числе которых могут отсутствовать показатели, являющиеся основными в технологии водоподготовки.

Исследования состава исходной воды на насосно-фильтровальных станциях показывают необходимость повышения их барьерной роли [20], в том числе на основе внедрения новых технологических процессов [21, 22].

Очевидно, что оптимизация мероприятий по защите водных объектов от загрязнения поверхностным стоком и повышению барьерной роли водопроводных очистных сооружений возможна только при их совместном рассмотрении. С этой целью необходимо выявить основные закономерности формирования качества воды источников водоснабжения под воздействием поверхностного стока с учетом определяемых технологических параметров.

### Постановка задачи

Водоснабжение г.о. Самара осуществляется как из поверхностного источника, так и путём забора подземных вод. Основным источником водоснабжения является Саратовское водохранилище реки Волга.

В г.о. Самаре существует несколько насосно-фильтровальных станций (НФС-1, НФС-2, ГВС). Общая мощность самарского городского водопровода – более 1 млн. м<sup>3</sup>/сутки.

Наиболее крупной станцией является НФС-1 (строительство и ввод в эксплуатацию осуществлен в 1931–1978 гг.), в состав которой входят три русловых водозабора, совмещенные с тремя насосными станциями первого подъема. Технология водоподготовки [12] – двухступенчатая схема очистки (горизонтальные отстойники, скорые фильтры). Станция расположена на берегу реки Волги (Саратовского водохранилища) в северной части города Самары (ул. Советской Армии, 298). Проектная мощность очистных сооружений составляет 550 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В качестве основных показателей (табл. 1) выбраны показатели, на основе которых производится выбор технологической схемы водоподготовки – мутность (М) и цветность (Ц).

Кроме этого, рассмотрены такие показатели как взвешенные вещества (ВВ), перманганатная окисляемость (ПО) и содержание марганца. Перманганатная окисляемость является показателем, характеризующим общую загрязненность воды органическими веществами, изменение содержания которых в водоисточнике оказывает влияние на работу очистных сооружений водоснабжения.

Включение в перечень рассматриваемых показателей марганца вызвано тем, что в последние годы в регионе наблюдаются его повышенные концентрации (обычно в летний период) и необходимо определить связано ли это с поступлением в водные объекты неочищенного поверхностного стока с городской территории.

Характеристика исходной воды, поступающей на НФС-1 представлена в табл. 1.

Таблица 1

Среднемесячные значения показателей (по данным за 2013–2016 г.)

Месяц	Перманганатная окисляемость (ПО), мгО/дм <sup>3</sup>	Мутность (М), мг/дм <sup>3</sup>	Взвешенные вещества (ВВ), мг/дм <sup>3</sup>	Цветность (Ц), град.	Марганец (Мп), мг/дм <sup>3</sup>
1	6,350	0,605	3,100	25,0	0,020
2	7,010	0,615	3,100	28,0	0,052
3	6,625	0,615	3,300	30,0	0,035
4	7,217	2,470	4,800	32,7	0,092
5	6,700	1,823	5,400	32,0	0,079
6	7,200	0,960	3,667	36,3	0,069
7	7,100	0,790	3,467	32,0	0,053
8	7,100	0,947	3,000	25,0	0,038
9	6,767	0,990	3,067	26,0	0,028
10	6,800	0,690	3,133	25,0	0,034
11	5,900	0,630	3,933	19,5	0,017
12	6,167	0,717	3,000	20,2	0,047

Водоотведение г.о. Самара осуществляется в основном по полной раздельной системе канализации.

В зависимости от рельефа местности, для сбора и отвода поверхностного стока с территории, г.о. Самара разделен на 15 бассейнов канализования [23].

В Саратовское водохранилище стоки через систему дождевой канализации отводятся с I, II, III, IV, V бассейнов канализования. Очистные сооружения поверхностного стока отсутствуют [23].

Выше по течению, в границах третьего пояса зоны санитарной охраны водозаборов НФС-1 осуществляется сброс поверхностного стока через

выпуск «8-я просека». Главный магистральный коллектор выпуска проходит по III водосборному бассейну канализования г.о. Самары. Начинается коллектор на пересечении проспекта Кирова и Московского шоссе. Диаметр начального участка коллектора 500 мм, диаметр коллектора у выпуска 1000 мм.

Участки коллектора проходят по проспекту Кирова, затем коллектор поворачивает в направлении ул. Демократической и далее в направлении ул. 8-я просека. Вдоль трассы магистрального коллектора имеются боковые присоединения с улиц Демократической, Тополей, Сирина, Г. Димитрова, Молодежной, Бубнова.

Общая длина магистрального коллектора составляет 1272,5 м. Расчетная водосборная площадь коллектора 339,72 га. Длина выпуска 194,0 м. Выпуск расположен на расстоянии 1411,8 км от устья Волги, тип выпуска – береговой, сосредоточенный. Расчетный годовой объем сброса поверхностного стока через выпуск составляет порядка 1100 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Качественная характеристика поверхностного стока на выпуске «8-я просека» по основным определяемым показателям приведена в табл. 2.

Таблица 2

Среднемесячные значения показателей (по данным за 2013–2016 г.), мг/дм<sup>3</sup>

Месяц	БПК <sub>полн.</sub>	ВВ	NH <sup>4+</sup>	NO <sup>2-</sup>	NO <sup>3-</sup>	P	Fe	НП	АСПАВ
1	7,500	17,450	2,000	0,350	5,600	0,320	0,320	0,053	0,075
2	4,600	6,600	1,115	0,155	2,550	0,205	0,290	0,038	0,059
3	5,750	7,200	1,600	0,165	1,020	0,215	0,305	0,050	0,090
4	7,200	35,233	1,717	0,270	1,203	0,197	0,607	0,113	0,110
5	7,900	8,633	2,367	0,267	1,170	0,257	0,383	0,104	0,083
6	6,433	19,700	2,097	0,197	1,210	0,193	0,373	0,105	0,070
7	5,467	9,500	0,563	0,153	1,320	0,101	0,323	0,060	0,070
8	8,867	11,700	2,287	0,375	1,000	0,233	0,447	0,060	0,098
9	5,867	9,333	1,820	0,387	1,450	0,127	0,293	0,059	0,111
10	7,533	8,367	2,527	0,293	1,083	0,287	0,310	0,057	0,111
11	5,267	10,467	1,710	0,174	0,913	0,263	0,340	0,081	0,071
12	5,600	11,800	1,757	0,163	1,700	0,173	0,283	0,065	0,100

Условные обозначения: ВВ – взвешенные вещества, NH<sup>4+</sup> – ион аммония, NO<sup>2-</sup> – нитрит-ион, NO<sup>3-</sup> – нитрат-ион, P – фосфаты (по фосфору), Fe – железо (общее), НП – нефтепродукты

Таким образом, необходимо определить оказывает ли сброс поверхностного стока через выпуск «8-я просека» существенное влияние на качество исходной (сырой) воды НФС-1, а в случае наличия такого влияния определить по каким показателям, разработать математические модели связи показателей сырой воды с качеством отводимого поверхностного стока.

### Результаты исследования

Основываясь на данных количественного химического анализа выполнены исследования с применением аппарата математической статистики. В отличие от расчетных методов, используемых при определении кратности разбавления [24, 25], статистические методы позволяют не только определить зависимости между качеством поверхностного стока и показателями воды на НФС-1, но и оценить доли воздействия, которые приходится на данный источник загрязнения и другие источники, под воздействием которых происходит формирование качественного состава воды источника водоснабжения.

На первом этапе была оценена зависимость между основными технологическими показателями, которые определяют на насосно-фильтровальной станции. В результате определены регрессионные зависимости (табл. 3), позволяющие охарактеризовать взаимовлияние отдельных показателей и определить их значение, при неполноте исходной информации.

Таблица 3

Зависимости показателей исходной воды на НФС-1

Показатель	Регрессионная модель	R-Squared
Перманганатная окисляемость	$4,3024 + 0,0886217 \cdot Ц$	58,0520
Мутность	$- 0,609559 + 0,258516 \cdot ВВ + 14,5004 \cdot Мп$	66,2754
Взвешенные вещества	$2,78348 + 0,816877 \cdot М$	32,1272
Цветность	$-16,5876 + 6,55054 \cdot ПО$	58,0520

Анализ полученных моделей (табл. 3), показывает наличие взаимосвязи между перманганатной окисляемостью и цветностью воды (оба этих показателя характеризуют наличие в воде органических веществ). Содержание взвешенных веществ связано с ее мутностью. При этом сама мутность, характеризуется не только наличием взвешенных веществ, но и присутствием соединений марганца. Интересно, что по статистическому параметру R-Squared, изменение мутности описывается этими двумя показателями более чем на 65 %.

На втором этапе выполнен поиск зависимостей исходной воды на НФС-1 от показателей качества поверхностного стока, отводимого в Саратовское водохранилище.

Определено, что статистически значимую зависимость от качества поверхностного стока имеют только два показателя: мутность и цветность (табл. 4).

На величину мутности влияет содержание взвешенных веществ в поверхностном стоке, а также содержание общего железа, аммонийного и нитритного азота. При этом следует отметить, что повышение содержания нитритов уменьшает мутность. По-видимому, это отражает взаимосвязь различных форм азота в воде и увеличению концентрации нитритов характерно более низкое содержание аммонийного азота.

Таблица 4

Зависимости показателей воды на НФС-1 и поверхностного стока

Показатель	Регрессионная модель	R-Squared
Мутность	$0,12146 + 0,0320927 \cdot ВВ + 0,212821 \cdot NH_4^+ - 2,02073 \cdot NO_2^- + 1,63389 \cdot Fe$	68,5328
Цветность	$21,2589 + 87,9562 \cdot НП$	32,3365

Цветность воды связана с содержанием нефтепродуктов в поверхностном стоке, при этом они определяют ее изменчивость примерно на 30 %.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что сброс поверхностного стока через выпуск «8-я просека» оказывает статистически значимое влияние на качество исходной воды НФС-1.

Полученные регрессионные зависимости между основными показателями сырой воды станции водоподготовки дают возможность выполнить прогноз для характерных периодов года с увязкой значений отдельных показателей между собой.

Предложенные регрессионные модели позволяют спрогнозировать влияние применяемых технических решений по снижению сброса поверхностного стока на работу системы водоподготовки в условиях НФС-1.

На мутность исходной воды НФС-1 оказывают влияние содержащиеся в поверхностном стоке взвешенные вещества, аммонийный и нитритный азот, общее железо, на цветность – нефтепродукты.

Содержание взвешенных веществ, марганца и перманганатная окисляемость не имеют статистически значимой связи с качеством отводимых через выпуск «8-я просека» поверхностных сточных вод. Очевидно данные показатели формируются в большей степени под воздействием других природных и антропогенных источников.

Отсутствие статистической связи между содержанием марганца и качеством поверхностного стока косвенно подтверждает мнение, о том, что его концентрация в водных объектах региона связана в первую очередь с происходящими в них биологическими процессами (отмиранием водорослей), а не с поступлением из источников загрязнения водной среды.

### Литература

1. Кичигин В. И., Быкова П. Г. Исследование физико-химических характеристик поверхностного стока населенных пунктов // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 11. С. 28–32.
2. Кичигин В. И., Палагин Е. Д. Моделирование загрязнения водотоков поверхностным стоком. Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2005.

3. Стрелков, А. К., Шувалов М. В., Гриднева М. А. Поверхностные сточные воды г. Самары и их влияние на водоемы как источники водоснабжения // Научное обозрение. 2015 г. №7, С. 139–143.
4. Быкова П. Г., Стрелков А. К., Палагин Е. Д., Кондрина Е. Е. Качество поверхностных вод, поступающих с территории города Самары в Саратовское водохранилище и реку Самара // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 67-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2010. С. 567–569.
5. Палагин Е. Д. Исследование динамики состава поверхностного стока урбанизированных территорий // Водообеспечение и санитарная техника. 2018. №1. С. 51–56.
6. Палагин Е. Д., Гриднева М. А., Быкова П. Г., Набок Т. Ю. Закономерности изменения состава поверхностных сточных вод // Водообеспечение и санитарная техника. 2013. № 8. С. 56–60.
7. Палагин Е. Д., Быкова П. Г., Пахомова У.М. Исследование основных закономерностей в варьировании качественного состава поверхностных сточных вод г.о. Самара // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. №2. С. 80–82.
8. Палагин Е. Д., Быкова П. Г., Пахомова У. М. Исследование сезонной изменчивости содержания БПК, взвешенных веществ и нефтепродуктов в поверхностном стоке // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. №4. С. 57–59.
9. E. D. Palagin Urban Land: Study of Surface Run-off Composition and Its Dynamics // et al 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 262 012181.
10. Палагин Е. Д., Быкова П. Г., Пахомова У. М. Исследование основных закономерностей в формировании качественного состава поверхностных сточных вод // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 68-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2011. С. 771–774.
11. Палагин Е. Д., Быкова П. Г., Пахомова У. М. О влиянии сезонности на содержание взвешенных веществ, БПК и нефтепродуктов в поверхностном стоке // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 68-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2011. С. 774–777.
12. Палагин Е. Д., Стрелков А. К., Быкова П. Г., Цыпин А. В., Вдовин Д. В. Параметры дождевых осадков для определения производительности очистных сооружений поверхностного стока // Водообеспечение и санитарная техника. 2016. № 12. С. 41–46.
13. Палагин Е. Д., Цыпин А. В., Быкова П. Г., Вдовин Д. В. Определение производительности очистных сооружений поверхностного стока в условиях Приволжского федерального округа // Водообеспечение и санитарная техника. 2015. № 12. С.56–62.
14. Палагин Е. Д., Палагин Е. Д., Бухман Н. С., Цыпин А. В. Определение расчетных расходов и объемов сооружений при регулировании поверхностного стока // Научное обозрение. 2014 №9(3). С. 823–826.
15. Палагин Е. Д., Цыпин А. В. О некоторых особенностях расчета различных схем регулирования поверхностного стока // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 71-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2014. С. 763–765.
16. Стрелков А. К., Гриднева М. А., Набок Т. Ю. и др. Влияние урбанизации на системы водоотведения и очистки поверхностного стока (на примере г. Самары) // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. № 4 (17). С. 55–62.
17. Стрелков А. К., Гриднева М. А., Кондрина Е. Е. Мониторинг изменения расходов поверхностных сточных вод в условиях развития г.о. Самара // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 69-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2012. С. 213–214.
18. Стрелков А. К., Гриднева М. А. Техничко-экономический и экологический анализ эффективности технических решений по защите водотоков от загрязнений // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика. Материалы 64-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2007. С. 438.

19. Стрелков А. К., Шувалов М. В., Гриднева М. А. Обоснование выбора и методики расчета диктующих ингредиентов при выборе технологической схемы очистки поверхностного стока // В сб.: Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод. Самара: СГАСУ, 2005. С. 300–310.
20. Егорова Ю. А., Кичигин В. И., Нестеренко О. И. Исследование физико-химического состава исходной воды на насосно-фильтровальных станциях г. Самары // Водообеспечение и санитарная техника. 2016. № 12. С. 7–13.
21. Чувилин В. Н., Кирсанов А. А., Стрелков А. К., Смирнов А. Д., Быкова П. Г. Повышение барьерной роли водопроводных очистных сооружений г. Самары // Водообеспечение и санитарная техника. 2006. № 9–2. С. 9–12.
22. Быкова П. Г., Стрелков А. К., Анпилогова С. Ю. К вопросу повышения барьерной роли водопроводных очистных сооружений города Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 67-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2010. С. 569–570.
23. Быкова П. Г., Палагин Е. Д. Концепция целевой программы «Развитие системы дождевой канализации г.о. Самара» // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 69-й Всероссийской науч.-техн. конференции. Самара: СГАСУ, 2012. Ч. II. С. 246–247.
24. Палагин Е. Д., Быкова П. Г., Гриднева М. А. Расчет разбавления при нормировании сброса сточных вод в водоемы // Водообеспечение и санитарная техника. 2018. № 1. С. 24–31.
25. Палагин Е. Д., Быкова П. Г., Гриднева М. А. Определение кратности разбавления при нормировании сброса сточных вод // Водообеспечение и санитарная техника. 2016. № 12. С. 47–53.

**УДК 628***Александр Кузьмич Стрелков, д-р техн.*

наук, профессор

*Светлана Юрьевна Теплых, канд. техн.*

наук, доцент;

*Анастасия Олеговна Быстранова,*

аспирант;

(Академия строительства и архитектуры

Самарского государственного технического

университета)

*E-mail:kafvv@mail.ru**Alexander Kuzmich Strelkov, Dr of Tech. Sci.,*

Professor

*Svetlana Urvna Teplyh, PhD of Tech. Sci.,*

Associate Professor

*Anastasia Olegovna Bystranova*

post-graduate student,

(Samara State Technical University,

Architecture and Civil Engineering

Academy)

*E-mail:kafvv@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД МАСЛОЭКСТРАКЦИОННОГО ЗАВОДА

### STUDY ON WASTEWATER TREATMENT OF OIL EXTRACTION PLANT

В настоящее время проблема загрязнения окружающей среды становится все более актуальной. Загрязнение поверхностных водоемов является особенно серьезной проблемой для окружающей среды. Это является одной из важнейших технических, эколого-биологических и социальных проблем человечества. Несмотря на то, что предприятия пищевой промышленности используют современные методы переработки сырья, они

наносит вред окружающей среде. Целью исследования является оценка вредного влияния маслоэкстракционной промышленности на водоемы, измерение общего эффекта очистки, производимого обработкой реагентов, и изучение их типов, доз и режимов ввода.

*Ключевые слова:* маслоэкстракция, реагенты, загрязнения водоемов, окружающая среда.

The problem of environmental pollution becomes more and more actual nowadays. Water basins pollution is one of the most pressing technical, ecological, biological and social problems of mankind. Despite the fact that food industry enterprises tend to use modern methods of processing raw materials, they are still harmful to the environment. The study aims to estimate the harmful effect oil-extracting industry produces on water bodies, measure the overall purification effect produced by treating agents and examine their types, doses and input modes. The oil-extracting plant under investigation is located in residential area.

*Keywords:* oil-extracting, reagents, pollution of water, environment.

Сточные воды промышленных предприятий содержат большое количество органических загрязнений: углеводородные масла растительные и животные жиры, поверхностно активные вещества и др. В частности, промышленные сточные воды пищевых производств, а также предприятия бытового обслуживания населения содержат до 20000 мг/л жира и других органических веществ [1]. Совместное присутствие вышеназванных загрязнений приводит к образованию устойчивой эмульсии.

Жиры в сточных водах могут находиться в двух агрегатных состояниях – в твердом, жидком и коллоидном. В зависимости от условий образования и состава сточных вод жиры могут быть в виде жировой фазы, образующей на поверхности жидкости пленку, диспергированных частиц в воде (эмульсия) и находиться в растворенном состоянии [2]. Наиболее часто в сточных водах наблюдается существование одновременно всех трех состояний жира, что значительно затрудняет определения его концентрации.

В литературе [3, 4] описаны некоторые методы определения жира в сточных водах, которые основаны на экстракции жира органическими растворителями.

Наиболее широко распространен гравиметрический метод с применением аппарата Соклета, в качестве растворителя используют диэтиловый или петролейный эфир [5]. Гравиметрический анализ основан на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, полученных в результате аналитической реакции и выделенных в химически чистом состоянии или в виде соответствующих соединений.

Методика рефрактометрического анализ основан на изменении показателя преломления жидкого анализируемого вещества (или его раствора). Луч света, проходя из одной прозрачной среды (воздух) в другую (жидкость), падая наклонно к поверхности раздела, меняет своё первоначальное направление, т. е. преломляется. Показатель преломления является характерной величиной для каждого индивидуального вещества, он зависит о длины волны падающего света, давления и концентрации (если это раствор)

В данном исследовании приведены результаты определения содержания жиров в сточной воде (модельном растворе) с помощью фотометрического метода, который основан на изменении интенсивности света, прошедшего через раствор [6]. Это измерение проводится с помощью специальных оптических приборов – фотоколориметров. Часть светового потока, проходя через раствор, поглощается, прошедший через раствор световой поток, попадая на фотоэлемент, вызывает в нем электрический ток (фототок), сила которого измеряется гальванометром. Сила тока прямопропорциональна интенсивности падающего на фотоэлемент света (КФК-2МП УХЛ4.2).

Изучение по литературным источникам вопроса очистки масложиродержащих сточных вод масложировых предприятий показало, что из наиболее широко применяемых локальных методов очистки является метод с применением различных реагентов [7,8].

В рамках проведенных исследований обработке подвергались производственные сточные воды образующаяся на маслоэкстракционном заводе ЗАО «Самараагропромпереработка», г. Безенчук.

Как показали результаты контроля, сточные воды предприятий масложировой промышленности мутные, серого цвета с хлопьевидной взвесью. Жир чаще всего присутствует в виде растительных масел, небольшие количества которых покрывают зеркало воды, затрудняя реаэрацию и растворение кислорода. Проходя по канализационным сетям, эти масла прилипают, к стенкам канала, происходит склеивание загрязнений, от чего уменьшается сечение потока [9]. Кроме этого, в сточных водах присутствуют органические кислоты и азотосодержащие вещества, которые после нейтрализации загнивают, образуя из разлагающихся белков и восстанавливающихся сульфатов сероводород. Показатели поступающих сточных вод по контролируемым показателям указаны в табл. 1.

На основании полученных данных был приготовлен модельный раствор. Для приготовления в качестве основного компонента было использовано растительное масло. В водопроводную воду, предварительно доведенную до температуры 40÷60 °С, вносили загрязнения в виде растительного масла и согласно определенным химическим показателям масла рассчитывалась доза вводимого загрязнения. Затем модельный раствор охлаждали до температуры 20÷22 °С.

Пользуясь предварительно построенным градуированным графиком (рис. 1), определяют концентрацию жиров в растворе (модельный раствор имеет концентрацию жиров, наиболее приближенную к концентрации стока).

Одним из наиболее распространенных методов очистки производственных сточных вод является их очистка при использовании коагулянтов. Серия экспериментов по выбору оптимальной схемы реагентной обработки заключалась в подборе оптимальных марок коагулянтов и определения удельных расходов (доз) реагентов.



Таблица 1

Показатели поступающих сточных вод маслоэкстракционным заводе  
ЗАО «Самараагропромпереработка», г. Безенчук

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Значения
1	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	180±9,1
2	БПК	мг/дм <sup>3</sup>	8,60±0,12
3	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,017±0,006
4	Нитра-ион	мг/дм <sup>3</sup>	2,35±0,71
5	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	3,63±0,76
6	Нитрит-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,38±0,023
7	Фосфаты по фосфору	мг/дм <sup>3</sup>	0,28±0,042
8	Хлорид-ион	мг/дм <sup>3</sup>	950,08±39,70
9	Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,78±0,23
10	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	<0,08
11	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,0022±0,0012
12	Хром	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01
13	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,42±0,147
14	Фенол	мг/дм <sup>3</sup>	0,002±0,001
15	Жиры	мг/дм <sup>3</sup>	400,2±7,4

1. Раствор коагулянта добавляют к очищаемой воде непрерывно одной порцией.

2. Фракционированное коагулирование (дробный или частичный способ коагулирования) предусматривает добавление расчетного количества коагулянта к воде не одной, а двумя или несколькими последовательными порциями. Обработку воды разными последовательно добавляемыми коагулянтами можно также рассматривать как фракционированное коагулирование.

Технологический эффект, достигаемый при фракционировании дозы коагулянта, почти всегда объясняют с кинетической точки зрения – образованием в результате гидролиза первых порций коагулянт твердой фазы, выступающей в роли центров хлопьеобразования при гидролизе последующих порций коагулянта. Как известно, скорость налипания мелких частиц на крупные может в несколько раз превышать скорость взаимной коагуляции мелких частиц.

Для каждой серии опытов исследуемую воду наливают в 6 цилиндров вместимостью 1000 мл, затем приготовленный 10 % реagenтный раствор вводят в цилиндр реagenт:

1) с использованием сульфат алюминия, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> – дозу коагулянта варьировали в интервале от 100÷400 мг/л;

2) с использованием алюминия азотнокислого, 9-водный Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O – дозу коагулянта варьировали в интервале от 100÷300 мг/л;

3) с использованием гипохлорит натрия, NaOCl – дозу коагулянта варьировали в интервале от 100÷300 мг/л;

Содержимое всех стаканов интенсивно перемешивают мешалками в течении 30÷40 с, а затем в течении 3÷5 мин пробу перемешивают медленно. Далее пробу оставляют для отстаивания на 60 мин, наблюдая за процессами хлопьеобразования. После завершения отстаивания, коагулируемой сточной воды, из каждого цилиндра отбирали пробу воды по 100 мл из верхнего слоя не взмучивая осадка. Учитывая физико-химические свойства веществ, используемых в качестве экстрагента для проведения исследования был выбран растворитель хлороформ.

Затем, 100 мл модельного раствора помещали в делительную воронку, после добавляли 15 мл экстракта(хлороформ) и встряхивали в течении 2÷3 мин. После разделения слоев экстракта сливали в цилиндр. Экстракт высушивали безводным сульфатом натрия. Используя фотоколориметр определяем содержание жира в экстракте. Результаты измерений при введении раствора коагулянта непрерывно одной порцией приведены в табл. 2.

Результаты измерений при введении фракционированным способом коагулирования табл. 3.

Построим график для наглядного отображения очистки сточных вод различными реagenтами (рис. 2).

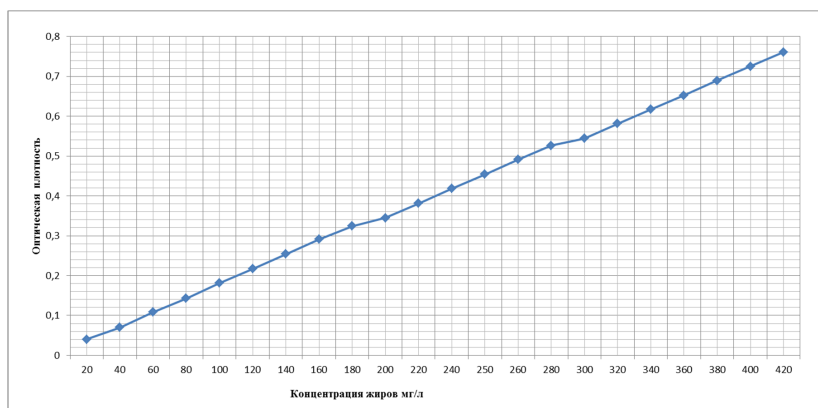


Рис. 1. Калибровочный график определения жира

Основным процессом коагуляционной очистки производственных сточных вод является гетерокоагуляция – взаимодействие коллоидных и мелкодисперсных частиц сточных вод с агрегатами, образующимися при введении в сточную воду коагулянтов [10].

Затем осуществляем подбор наиболее рациональным способом введения коагулянта в очищаемую воду:

Таблица 2

Содержание жира в экстракте после введения непрерывно одной дозой

Доза реагента (мл) (1 фракция)	Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$ (мг/л)		Алюминий азотнокисло-лого, 9-водный $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$		Гипохлорит натрия, $NaOCl$	
	Оптическая плотность	Концентрация жиров	Оптическая плотность	Концентрация жиров	Оптическая плотность	Концентрация жиров
100	Не определена, так как минимальная доза 150 мг/л		0,131	52,5	0,159	79,3
150	0,62	330	0,05	20	0,82	61
200	0,526	280	-	-	0,1	48
250	0,42	230	-	-	-	-
300	0,324	180	-	-	-	-
350	0,16	90	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-

Таблица 3

Содержание жира в экстракте после фракционированным способом

Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$ (мг/л)			Алюминий азотнокисло-лого, 9-водный $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$			Гипохлорит натрия, $NaOCl$		
Доза реагента (мл) 1 фракция	Доза реагента (мл) 2 фракция	Концентрация жиров	Доза реагента (мл) 1 фракция	Доза реагента (мл) 2 фракция	Концентрация жиров	Доза реагента (мл) 1 фракция	Доза реагента (мл) 2 фракция	Концентрация жиров
Не определена, так как минимальная доза 150 мг/л		-	70	30	50	70	30	75
100	50	325	100	50	18	100	50	60
125	75	276	125	75	0	125	75	46
200	100	224	200	100	0	200	100	19
230	120	174	230	120	0	230	120	0
280	120	81	300	100	0	300	100	0
300	150	-	300	150	0	300	150	0

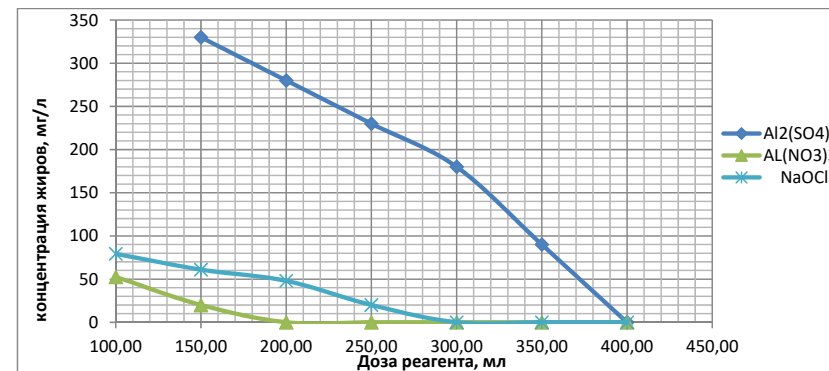


Рис. 2. Изменение мутности воды при обработке ее различными реагентами

Исходя из серии опытов с применением: сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , алюминий азотнокислый, 9-водный  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ , гипохлорит натрия,  $NaOCl$ . Наиболее эффективным оказалось применение алюминия азотнокисло-лого, 9-водного. В данной технологической схеме применяется реагент гипохлорит натрия  $NaOCl$ . Проведем их сравнительную характеристику и определим наиболее высокую эффективность очистки, результаты приведены в табл. 2, 3.

При применении реагента алюминия азотнокисло-лого, 9-водный на стоки предприятия масложирового производства наблюдалась наиболее высокая эффективность очистки по жирам.

### Вывод

В промышленных условиях высокая эффективность очистки основного потока сточных вод достигается с применением реагентного метода с последующим отделением твердой фазы. Данное техническое решение позволяет удалить из стока большую массу загрязняющих веществ. Локальная очистка высококонцентрированных по органическим загрязнениям сточных вод масложирового производства может быть успешно осуществлена с помощью физико-химических методов. Предложенное технологическое решение отличается наиболее эффективной схемой реагентной обработки стоков.

### Литература

1. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. СЭВ, ВНИИ ВОДГЕО. М., 1982. 527 с.
2. Вототский С. С. Курс коллоидной химии. М., 1964. 574 с.
3. Пушкарев В. В., Южанинов А. Г., Мэн С. К. Очистка маслосодержащих сточных вод. М., 1980. 197 с.

4. Рубин А. А., Химия промышленных сточных вод. М., 1983. 359 с
5. Васильева В. П. Аналитическая химия. М., 1989. 383 с
6. Лурье, Ю. Ю., Рыбникова А. И. Химический анализ производственных сточных вод. М: "Химия", 1974. 336 с.
7. Равделя А. А., Пономоревой А. М. Краткий справочник физико-химических величин. Спб.: Специальная литература, 1998. 232 с.
8. Самохин В. Н., Лихачев, Н. И. Ларин И. И., Хаскин С. А. и др. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
9. Жуков А. И. Методы очистки производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 2008. С. 114
10. Бабенков, Е. Д. Очистка воды коагулянтами. М: Наука, 1977. 356 с.

#### УДК 574

*Людмила Ивановна Цветкова,*  
д-р. биол. наук, профессор  
*Галина Ивановна Копина,*  
канд. хим. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет)  
*Елена Неверова-Дзиопак,*  
д-р. техн. наук, профессор  
(Горно-Металлургическая академия,  
г. Краков)  
*E-mail: tsv\_liudmila@mail.ru,*  
*g.kopina@Jandex.ru, elenaa@agh.edu.pl*

*Lyudmila Ivanovna Tsvetkova,*  
Dr of Biol. Sci. professor  
*Galina Ivanovna Kopina,*  
PhD of Chem. Sci.  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*Elena Neverova-Dziopak*  
Dr of Tech. Sci. professor  
(AGH University of Science  
and Technology, Krakow)  
*E-mail: tsv\_liudmila@mail.ru,*  
*g.kopina@Jandex.ru, elenaa@agh.edu.pl*

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НА КАФЕДРЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИИ

#### ENVIRONMENTAL ACTIVITY AT THE DEPARTMENT OF WATER USE AND ECOLOGY

В статье излагается история возникновения экологического направления в Ленинградском инженерно-строительном институте (ЛИСИ), ныне Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете (СПбГАСУ). Экологические исследования в ЛИСИ были начаты еще в 50–60-х годах прошлого столетия под руководством проф. Федорова Н.Ф., в связи с решением ряда водохозяйственных задач, которые продолжают и по сей день. Благодаря этим исследованиям сформировался высококвалифицированный коллектив экологов. Это послужило основанием для передачи преподавания дисциплины «Экология» студентам всех специальностей и всех форм обучения на кафедру, которая теперь называется «Водопользования и экология».

*Ключевые слова:* экологические исследования, комплекс защитных сооружений, эвтрофирование, международные проекты, дисциплина «экология».

The article describes the history of origination of environmental direction in Leningrad Institute of Civil Engineering (LISI), now St. Petersburg State University of Architecture and

Civil Engineering (SPbGASU). Environmental studies in the LISI were started in the 50's and 60's of the past century under the guidance of prof. Fedorov N.F., in connection with the necessity of solution of a number of water management tasks and which are still continuing. Thanks to these studies the highly qualified team of ecologists was formed. This served as the basis to entrust the teaching of the discipline "Ecology" the students of all specialties within all forms of training to the department, which is now called the Department of Water Use and Ecology».

*Keywords:* ecological research, a complex of protective facilities, eutrophication, international projects, discipline «ecology».

Кафедра «Водопользования и экологии» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) была образована объединением трех кафедр: «Водоотведение и экология», «Водоснабжение» и «Гидравлика». Слово «экология» сохранилось в названии кафедры не случайно.

Исследования экологической направленности на упомянутых кафедрах имеют достаточно давнюю историю. Основоположником этого направления был профессор Н.Ф. Федоров. Еще в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого столетия им были организованы и под его руководством начали проводиться крупномасштабные исследования по изучению санитарного состояния водной системы Ленинграда, в связи с решением ряда водохозяйственных задач: проектированием канализационных сетей и очистных сооружений, выбором мест выпусков городских сточных вод и др.

К этим исследованиям, которые проводились под руководством Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ) были привлечены специалисты самых авторитетных организаций: Зоологического института АН СССР; Академии коммунального хозяйства (АКХ); Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства (ГОСНИОРХ); Городской санэпидемстанции; Гидрометслужбы и др.

Хотя слово «экология» в те годы не было таким модным, но по существу эти исследования с полным правом можно назвать «экологическими». Результаты работ были опубликованы в двух монографиях: «Санитарное состояние Невской губы» (1963) и «Санитарное состояние р. Невы» (1967), которые во многом не потеряли своей актуальности и в настоящее время.

В ЛИСИ, как писал в своих воспоминаниях проф. Н.Н. Лапшев, руководивший в те годы полевыми исследованиями, «был сформирован коллектив инженеров, гидрологов, гидрохимиков и гидробиологов. В основном это были молодые специалисты, обладающие хорошими знаниями, энергией и задором». Эти специалисты были сотрудниками разных кафедр: городского строительства и хозяйства, гидравлики, водоснабжения, канализации.

Позднее пять человек этого коллектива защитили докторские диссертации, а все остальные стали кандидатами технических, химических или биологических наук. По существу Н.Ф. Федоровым была создана научная школа экологического направления, специалисты которой в последствии принимали участие в изучении санитарного состояния водоемов Северо-

Запада (1960–1967), в разработке Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР (1967–1972) и создании программы исследований пограничных с Финляндией водоемов и др. Н.Ф. Федоров был членом советско-финской комиссии по использованию пограничных водоемов и комиссаром по их охране от загрязнений. Совместно с Ю.Б. Безобразовым они разработали проект норм качества воды для пограничных водоемов СССР и Финляндии.

В 1975 г. коллектив, возглавляемый Н.Ф. Федоровым, был приглашен главным инженером технического проекта защиты г. Ленинграда от наводнений, выполняемого ЛО института «Гидропроект» им. С.Я. Жука, С.С. Агалаковым для проведения исследований по экологическому обоснованию этого уникального защитного комплекса. При разработке проекта вопросам охраны окружающей среды, экологической безопасности, эвтрофированию («цветению») Невской губы и Финского залива уделялось особое внимание.

Многие годы велись дебаты с участием международных экспертов между сторонниками и противниками строительства комплекса защитных сооружений (КЗС) именно в связи с опасениями экологического характера о том, что Невская губа превратится в зацветающее и гниущее болото, вследствие усиления процессов эвтрофирования после возведения «дамбы».

Обобщение результатов исследований экологического состояния Невской губы и восточной части Финского залива, проводимых тогда только ЛИСИ, ГОСНИОРХом и Гидрометслужбой, а также анализ литературных данных был поручен Цветковой Л.И. На основе этих данных был выполнен сравнительный прогноз экологического состояния акваторий в естественных и проектных условиях. Прогноз показал, что защитные сооружения практически не повлияют на развитие процессов эвтрофирования и экологическое состояние ни в Невской губе, ни в восточной части Финского залива, который позже полностью подтвердился (Проект защиты Ленинграда от наводнений, т. № 1296-10 п. 1, 1977). Эти выводы легли в основу экологического обоснования проекта, выполненного в ЛИСИ, которое получило положительную оценку ГКНТ СССР.

Более того, еще на стадии проектирования возникла идея о возможности использования маневрирования затворами водопропускных сооружений защитного комплекса для оздоровления экологической обстановки в прилегающих акваториях.

В 1979 г. было принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О строительстве комплекса защитных сооружений г. Ленинграда от наводнений» № 745 от 19.08.1979 г.

В 1988 г. Северные ворота Невской губы были частично перекрыты дамбами с введенными в эксплуатацию судопропускным и четырьмя водопропускными сооружениями. В условиях крайней озабоченности общественности экологической ситуацией, особенно в зонах рекреации, по инициативе

Управления «Ленморзащита» в октябре 1992 г. был начат уникальный крупномасштабный эксперимент в натуральных условиях по изучению возможности влияния маневрирования затворами водопропускных сооружений на гидрологический режим и экологическое состояние эстуария Невы и прилегающей к КЗС части Финского залива. В эксперименте приняли участие 16 специализированных институтов и организаций. В программу входили: гидрологические наблюдения, анализ качества воды, гидробиологические и ихтиологические исследования, наблюдения за распространением загрязняющих веществ с помощью трассеров, анализ химического и бактериологического состава донных отложений. Были задействованы все возможные технические средства: аэрофотосъемка, инструментальные методы анализов, автоматические самописцы, компьютеры и др. Самописцы работали около 2500 часов, отобрано 1800 проб воды и грунтов, выполнено около 18 000 анализов.

Одним из научных руководителей этих исследований была назначена проф. Л.И. Цветкова. Ей же было поручено обобщение результатов эксперимента и составление отчета.

Проведенный эксперимент подтвердил наличие принципиальной возможности управлять гидрологическим режимом и экологическим состоянием акватории путем маневрирования затворами водопропускных сооружений (интенсификация процессов самоочищения, разрушение застойных и циркуляционных зон, смещение потоков сточных вод в Невской губе от прибрежных мест рекреации и центральную часть, с интенсивным водообменом и др.).

В период строительства КЗС и по настоящее время экологические исследования водной системы Ладога – р. Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива под эгидой разных организаций (Гидрологического института, Института Озероведения АН РФ, Севзапгидромета и др.) практически не прекращались. Почти во всех этих исследованиях принимала участие и кафедра водопользования и экологии (в то время кафедра водоотведения и экологии). Ко всем исследованиям привлекались студенты. В 1986 г. на Городской межвузовской олимпиаде «Охрана окружающей среды» студенты ЛИСИ заняли второе место в командном и личном зачетах.

Были разработаны: универсальный интегральный показатель трофического состояния водных экосистем; концепция экологического нормирования качества воды; методы расчета экологически допустимых концентраций (ЭДК) биогенных веществ, прошедшие государственную экологическую экспертизу (заключение Госуд. экол. экспертизы № 7/07 от 20.12.2007); методы оценки экологического резерва водных объектов (ЭР) и экологически допустимых сбросов биогенов (ЭДС).

Разработано обоснование создания постоянно действующей системы наблюдений за экологическим состоянием р. Невы, Невской губы и восточной части Финского залива для задач водоснабжения и водоотведения СПб, исследовано влияние очистных сооружений СПб на эвтрофирование Невской

губы и восточной части Финского залива и др. (2005–2010 гг.). Научное руководство этими работами осуществляли проф. Алексеев М.И. и Цветкова Л.И. Огромный вклад в обработку и анализ полученных результатов внесла доц. Копина Г.И.

В соответствии с поручением Правительства РФ по привлечению дополнительных источников финансирования для завершения строительства сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений, в Южных воротах Невской губы, которое было приостановлено в 90-е годы, в 2000 г. Управлением «Морзащита» совместно с нидерландским консорциумом «Nedeco», при поддержке Комитета по внешним связям Администрации СПб, Генерального консульства Королевства Нидерландов и представительства в Санкт-Петербурге Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) была выполнена работа по подготовке ТЭО завершения строительства с привлечением международных и российских экспертов. Координатором российской группы экспертов была проф. Л.И. Цветкова. В декабре 2002 г. ТЭО было одобрено ЕБРР и было принято решение о предоставлении займа в размере 245 млн \$ (Проект завершения КЗС, рег. № Z 3194/001 «Nedeco»).

В 2011 г. строительство комплекса защиты было завершено. В рамках долгосрочной программы по интегрированному управлению водными ресурсами, принятой Постановлением Правительства СПб еще 25.05.04 № 804 уже на кафедре водопользования и экологии СПбГАСУ, по заданию ФКП «Дирекция КЗС г. СПб Минстроя России» в 2014 г. была разработана и создана программа маневрирования затворами КЗС с целью управления гидрологическим режимом и экологическим состоянием акватории Невской губы и восточной части Финского залива в условиях завершеного полностью строительства КЗС (2014). В этой работе приняли участие: проф. Л.И. Цветкова, доценты Копина Г.И. и Макарова С.В., зав. лабораторией Кабргель О.И., ст. лаборант Владимиров О.В.

Следует упомянуть, что в юбилейном буклете, выпущенном Управлением «Морзащита» в 2004 г. отмечено многолетнее деловое партнерство с 18 институтами и организациями СПб, среди которых на третьем месте после «Ленгидропректа» и «ЛенморНИИпректа», стоит СПбГАСУ.

Сотрудники кафедры, в том числе и студенты, принимали участие во многих международных проектах экологической направленности. Например, в 1995–1998 гг. они участвовали в международном проекте, финансируемом ЕС, – «Море и города».

Проект был посвящен истории развития систем канализации и охране прибрежных территорий и акваторий 10 крупнейших городов Балтийского региона (Санкт-Петербурга, Таллина, Риги, Вильнюса, Хельсинки, Стокгольма, Копенгагена, Кельна и др.).

Два студента СПбГАСУ, выполнявшие работы под руководством проф. Л.И. Цветковой, получили дипломы Первого Международного водного юниорского форума в г. Стокгольме из рук Королевы Сильвии (1977).

С 2002 г. практически по настоящее время, в рамках Межгосударственной программы российско-польского научно-технического сотрудничества по договорам с политехническим университетом г. Жешова, Высшей педагогической школой г. Ченстохова и Горной металлургической Академии г. Кракова ведутся исследования по направлениям «экологическая безопасность водоемов» и «эффективность функционирования водопроводно-канализационных систем» и др.

По результатам этих работ, которые неоднократно докладывались в Чехии, Польше, Финляндии, Швеции и России защищены докторская диссертация Неверовой-Дзиопак Е. и кандидатская диссертация Захаровой Ю.С.

Сотрудники кафедры многократно выступали на российских и международных конференциях, симпозиумах и форумах по проблемам экологии и экологического образования, а результаты работ публиковались и публикуются во многих изданиях в России и за рубежом.

Многолетнее участие кафедры в исследованиях экологического направления сформировало высококвалифицированный профессиональный коллектив экологов: инженеров, химиков, биологов. Это и послужило основанием для того, чтобы в 1994 г., после вступившего в силу Закона 1991 г. «Об охране окружающей природной среды» и в учебные планы всех вузов страны была введена дисциплина «экология» (в том числе и в планы технических вузов) – чтение этой дисциплины в СПбГАСУ для студентов всех специальностей и всех форм обучения было отдано на кафедру водоотведения. Первыми преподавателями экологии стали проф. Л.И. Цветкова и доц. Т.Н. Барышникова, а лабораторный практикум обеспечивала зав. лабораторией О.И. Кабргель.

Введение преподавания курса «Экология» в технических вузах имело особое значение, так как именно технический прогресс оказывает наибольшее влияние на экологическое состояние окружающей природной среды. Поэтому в обязательный минимум программ вузов технических направлений по циклу математических и общих естественнонаучных дисциплин (математика, физика, химия, информатика, теоретическая механика и т. п.) и была введена новая дисциплина – экология, содержание которой определялось Госстандартом ЕНФ-05.

И в это же время Госкомвуз России объявил конкурс на создание учебников нового поколения, в том числе на учебник «Экология» для технических вузов. Учебник, созданный коллективом авторов в Санкт-Петербургском Государственном архитектурно-строительном университете (СПбГАСУ) под редакцией проф. Л.И. Цветковой стал лауреатом этого конкурса (приказ Госкомвуза № 1091 от 25.07.1995), получил гриф Минвуза РФ (№ 98-124-778/27-11 от 13.07.1998) и претерпел уже три издания (1999, 2001, 2012). В 1999 г. учебник был награжден дипломом I степени конкурса на лучшее издание в области деловой, учебной и научной литературы (диплом

«Дана – 99», 1999), получил благодарность Минобразования РФ (Приказ № 14-169 от 02.09.2002), а также получил более десятков положительных отзывов от специалистов и студентов (акад. К.Я.Кондратьева, зав. каф. МГИУ проф. Резчикова Е.А., ректора РГТМУ Карлина Л.Н. и мн. др.).

### УДК 628.3

*Виктор Дмитриевич Ющенко,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Полоцкий государственный университет)  
*Анна Владиславовна Галузо,* аспирант,  
начальник цеха очистных сооружений  
(УП «Витебскводоканал»)  
*E-mail: v.yushchanka@psu.by,*  
*galuzo.anna@mail.ru*

*Virtor Dmitrievich Yushchenko,* PhD of  
Tech.Sci., Associate Professor  
(Polotsk State University)  
*Anna Vladislavovna Haluzo,* post-graduate  
student, head of sewage treatment plant  
(«Vitebskvodokanal»)  
*E-mail: v.yushchanka@psu.by,*  
*galuzo.anna@mail.ru*

## ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ Г. ВИТЕБСКА

### THE INTRODUCTION OF MODERN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES THE EXAMPLE OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN VITEBSK

Характеристика состава сточных вод г. Витебска и сооружений по их обработке. Основные пути поэтапной ретехнологизации очистных сооружений. Изменение технологии очистки сточных вод в первичных отстойниках, проведение опытно-экспериментальных работ по изучению процесса гидролиза. В ходе внедрения технологии ацидофикации изменены эксплуатационные режимы первичных отстойников. Вторым участком ретехнологизации является реконструкция блока биохимической очистки с учетом удаления биогенных элементов. Предложена рациональная технологическая схема во взаимодействии с сооружениями первого блока. Проводятся исследования по третьему участку ретехнологизации: технологическому взаимодействию реагентной доочистки с биологическими процессами. Осуществляется подбор вида реагента и дозировка в случае необходимости глубокой доочистки от общего фосфора.

*Ключевые слова:* технология очистки, ретехнологизации, ацидофикация, биогенные вещества, компостирование.

Characteristics of the composition of wastewater in Vitebsk and facilities for their treatment. The main ways of step-by-step retechnologization of treatment plants. Changing the technology of wastewater treatment in primary sedimentation tanks, carrying out experimental work on the study of the hydrolysis process. In the course of introducing the technology of acidification of the modified operating conditions in the primary clarifiers. The second part of the retechnologization is the reconstruction of the biochemical purification unit taking into account the removal of biogenic elements. A rational technological scheme in interaction with the structures of the first block is proposed. Studies on third phase of retechnologization: technological interaction of the reagent with biological post-treatment processes. The selection of the reagent type and dosage in case of need of deep cleaning from the phosphorus is carried out.

*Keywords:* cleaning technology, retechnologization, acidification, nutrients, composting.

## Введение

Экономический рост и одновременное улучшение экологической обстановки являются основными приоритетами в работе современных предприятий водопроводно-канализационного хозяйства. Значительное воздействие на окружающую среду оказывает работа очистных сооружений канализации.

Большинство очистных сооружений очистки сточных вод в Республике Беларусь построены в соответствии с нормами и правилами, введенными в действие несколько десятилетий назад. Опыт работы таких инженерных комплексов, показал, что реконструкция сооружений путём замены оборудования не всегда соответствует современным экологическим, экономическим и техническим требованиям. Эти требования определяют необходимость проведения реконструкции систем очистки стоков, с поэтапной ретехнологизацией, при условии взаимодействия работы всех применяемых сооружений.

## Предмет, задачи, методы

Канализационные очистные сооружения г. Витебска (в дальнейшем – КОС) функционируют с 1968 г. Ввиду того, что поступление сточных вод постоянно увеличивалось, очистные сооружения неоднократно реконструировались, перестраивались и расширялись, Расчетная производительность КОС составляет 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут (блок вторичных отстойников – до 160 тысяч м<sup>3</sup>/сут).

На КОС г. Витебска поступает смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, их количество и состав подвергается постоянному изменению в соответствии с экономической ситуацией в Республике.

Существующая технологическая схема очистки сточных вод состоит из следующих основных узлов: механическая очистка, биологическая очистка совместно с вторичным отстаиванием, выпуск очищенных стоков в р. Западная Двина.

Сточные воды от г. Витебска поступают на площадку очистных сооружений в приемную камеру, далее подаются к зданию решеток и далее горизонтальные бункерные песколовки с прямоточным движением воды.

Предварительное осветление сточных вод осуществляется в первичных радиальных отстойниках в количестве четырех штук. Сырой осадок направляется на иловые площадки.

После механической очистки осветленные воды подвергаются биологической очистке. Основным сооружением биологической очистки до 2008 г. являлись блоки двух и четырех коридорных аэротенков – вытеснителей (ввод в эксплуатацию 1970–1980 гг.). В дальнейшем блок 4-х коридорных аэротенков, ввиду его разрушения, был выведен из работы и проведена реконструкция очистных сооружений с вводом в эксплуатацию комплексных сооруже-

ний биологической очистки – биоблоков. При этом эксплуатируется две независимые линии очистки:

1. Решётки – песколовки – биоблоки – контактные резервуары – выпуск
2. Решётки – песколовки – первичные отстойники – аэротенки – вторичные отстойники – контактные резервуары – выпуск.

Для обработки осадка используются илоуплотнители и иловые площадки.

В настоящее время средний состав коммунальных стоков г. Витебска, по значениям загрязнений характеризуется как высококонцентрированный сток [1, 10]. За 2017 г. средние показатели по ХПК – 680 мг/л, БПК – 336 мг/л, азот общий – 70,9 мг/л и взвешенные вещества – 368 мг/л, фосфор общий до 11 мг/л. Количество сточных вод, поступающих на очистные сооружения составляет порядка 90 тыс. м<sup>3</sup>/сут с содержанием производственных стоков от крупных предприятий 25–30%.

### Результаты исследований

Основной задачей проведенной работы является улучшение качества очистки сточных вод при максимальном использовании действующих сооружений с применением комплекса действий по замене части существующих технологий на современные [2, 6].

Этапы внедрения ретехнологизации на очистных сооружениях представлены на рис. 1. На первом этапе, для интенсификации механической, и в дальнейшем, биологической очистки сточных вод объектом исследований

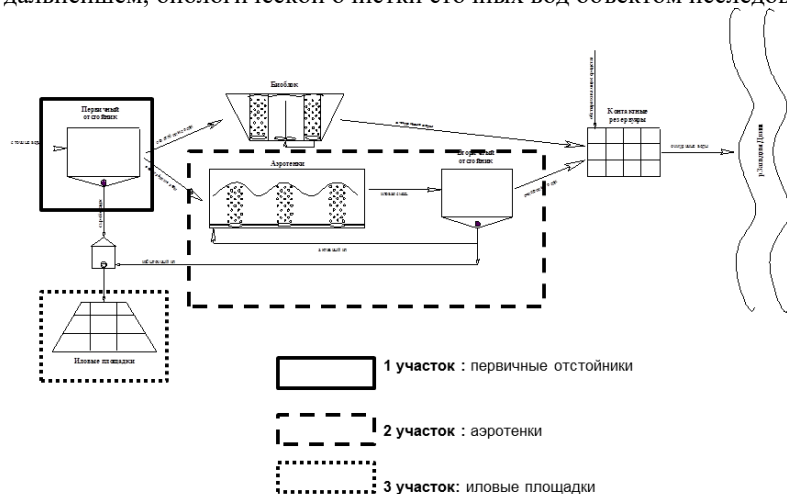


Рис. 1. Участки ретехнологизации технологического процесса очистки сточных вод

приняты первичные отстойники, на которых предлагается, для изменения технологии их работы, внедрение процесса гидролиза сырого осадка (рис. 2). Ферментация сырого осадка способствует образованию летучих жирных кислот (ЛЖК), для обеспечения дополнительного легко биоразлагаемого ХПК (лбХПК), что позволит повысить эффективность биологического удаления фосфора и азота в процессе очистки сточных вод.

В связи с этим, были проведены опытно-экспериментальные работы на существующих первичных радиальных отстойниках с применением экспериментальной установки для определения основных параметров эффективного протекания процессов гидролиза осадка.

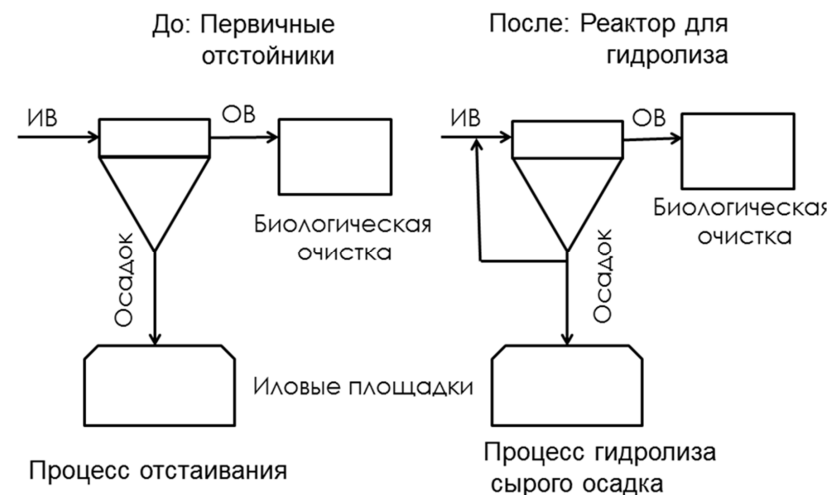


Рис. 2. Изменение технологического процесса первичных отстойников

Опытным путем определены подходящие условия для процесса гидролиза в отстойнике: средняя рециркуляция осадка составляла 4,8 % от поступающего расхода в отстойник, средняя гидравлическая нагрузка составляла 1,27 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>/ч, время – 5 дней, температура – 15°С, рН – 7,4. В вышеуказанных условиях концентрация ХПК увеличивалась на 20%, а концентрация БПК<sub>5</sub> на 22 %. Из-за гидролиза осадка в среднем вырабатывается 155 мг/л ХПК и 59 мг/л БПК<sub>5</sub>.

В ходе процесса гидролиза осадка в первичном отстойнике, наблюдалось улучшение соотношения значений БПК<sub>5</sub>/PO<sub>4</sub>-P и БПК<sub>5</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, что важно для более эффективного удаления биогенных веществ биологическим путем. По сравнению с процессом седиментации без гидролиза указанные соотношения увеличились на 14 % и 21 % соответственно [8].

По полученным результатам были изменены эксплуатационные режимы первичных отстойников. В ходе внедрения технологии ацидофикации было установлено, что, для эффективного ведения процессов ацидофикации, три отстойника диаметром 28 м должны выполнять функцию осветления сточной воды, а один отстойник диаметром 30 м переводится на процесс гидролиза сырого осадка. В этом отстойнике устанавливается дополнительное оборудование для циркуляции сырого осадка внутри сооружения. По периметру отстойника и на подвижной ферме установлены насосы (KSB SAS F59320  $Q = 5,6$  л/с,  $H = 9,7-2,3$  м) со стальными трубопроводами, что обеспечивает циркуляцию осадка внутри отстойника.

В последнее время, в связи с отрицательным воздействием биогенных элементов на экологию водоемов, важной проблемой при очистке сточных вод, является снижение концентраций различных соединений фосфора и азота. Для бассейна Балтийского моря, к которому относится река Западная Двина, эти концентрации должны соответствовать международным нормам ХЕЛКОМ(а) [3].

Вторым участком ретехнологизации процессов являются сооружения существующих двух коридорных аэротенков-вытеснителей, которые рассчитаны на биохимическую очистку сточных вод с проведением процессов нитрификации, удаления взвешенных веществ и БПК.

Предварительным обследованием установлено, что только при введении биологической обработки сточных вод с различными зонами по аэробности и дополнительной реагентной доочисткой, возможно, достичь максимально эффективного удаления биогенных элементов [2, 4, 7, 9]. Причем для глубокого удаления азота биологическим методом предполагается создание в аэротенках различных зон, которые различаются по степени обеспеченности кислородом и внутренними рециклами.

Для изменения технологии биологической очистки сточных вод, в соответствии с поступающими нагрузками на аэротенки, был проведен эксперимент на модельной установке с решением следующих задач по стадийным обработкам воды:

- изучить в лабораторных условиях закономерности удаления загрязнений из сточных вод.
- подобрать соответствующую технологическую схему биологической очистки для реальных сточных вод г. Витебска, определить необходимые технологические параметры (объемы зон, время обработки и др.).

В результате была принята технологическая схема реактора с различными зонами и оборудованием, основу которого составила анаэробно-аноксидно-оксидная обработка с двумя внутренними рециркуляциями потоков иловой смеси: первая – из вторичного отстойника в предденитрификатор, вторая – из конца оксидной зоны в анаксидную. Для повышения эффективности обработки в анаэробной зоне использовался предденитрификатор (рис. 3).

В ходе эксперимента отбирались пробы сточной воды, осветленной, очищенной и отстаивной воды, а также образцы ила. В воде определялись следующие показатели: температура, pH, БПК<sub>5</sub>, ХПК, аммонийная группа, фосфор общий, взвешенные вещества. В иловой смеси определялись показатели: содержание кислорода, концентрация ила по массе, концентрация ила по объёму. При этом, измерение температуры, pH и объема ила производятся непосредственно у экспериментальной емкости.

Эффективность удаления составило, в ходе эксперимента после вторичного отстойника, для БПК<sub>5</sub> 97,6 % (4,9 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), ХПК – 88,2 % (32,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Концентрация фосфора снизилась до 1,3 мг/дм<sup>3</sup>, а азота общего – с 58 мг/дм<sup>3</sup> до 13,6 мг/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует об эффективных процессах окисления – восстановления азотных соединений с выводом избыточного азота в атмосферу. То есть внедрение данной технологии позволит улучшить качественные показатели по биогенным веществам на выпуске очищенных сточных вод из вторичных отстойников.



Рис. 3. Технологическая схема ретехнологии сооружений биологической очистки

В настоящее время ведется строительство нового блока аэротенков, производительностью 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут с использованием различных зон обработки сточных вод.

На очистных сооружениях г. Витебска фирмой «Белэкполь» в 2008 г. построено опытно-экспериментальные сооружения типа «биоблок» (4 шт.), в которых протекают процессы окисления растворенных органических загрязнений и трансформация соединений азота с частичным удалением соединений фосфора. Конструктивной особенностью биоблока является то, что в одном сооружении совмещаются аэрационные отделения с разными зонами аэробности и вторичные отстойники. После устранения и совершенствования некоторых недостатков в процессе эксплуатации данные сооружения эффективно удаляют загрязнения по ХПК (90–93 %) и БПК<sub>5</sub> (92–97 %). По азоту аммонийному наблюдаются более высокие результаты эффективности очистки до 98 %.

Для дальнейшего снижения концентрации фосфорных соединений были проведены исследования по технологическому взаимодействию реагент-



ной доочистки с биологическими процессами. При необходимости реагентного удаления фосфора до концентрации 0,5 и ниже мг/л, произведен подбор вида алюмо и железосодержащих реагентов, определены их дозы и точки ввода в сточные воды [5, 11, 12].

В процессе очистки сточных вод образуется осадок, переработка которого также является проблемным вопросом. Для обработки избыточного ила на КОС используются илоуплотнители. Далее уплотнённый ил и сырой осадок для хранения перекачивается на иловые площадки, которые расположены в трёх километрах от города. Данные поля являются неотъемлемой частью сложного инженерно-технологического комплекса очистки сточных вод и предназначены для обезвоживания и хранения осадка, сформировавшегося в результате многолетней эксплуатации станции биологической очистки хозяйственно-бытовых и промышленных канализационных стоков. Общая площадь объекта – 46,5 га, полезная площадь – 36,5 га, количество площадок – 32 штуки. Иловые площадки представляют собой спланированные участки земли, окруженные со всех сторон земляными валиками.

На иловых площадках происходит естественное снижение влажности осадков за счет испарения и удаления поверхностной надильной воды. Хранение осадка сточных вод, непосредственно на иловых площадках, представляет серьёзную экологическую угрозу.

Традиционная линейная экономическая модель «взять, сделать, выбросить» уже вышла за пределы ограниченных мировых ресурсов. Но с другой стороны есть циркулярная экономика, целью которой является восстановление природного, производственного, финансового капитала, а также возобновление природных ресурсов. В процессе утилизации осадка сточных вод следует придерживаться понятия термина «окончательной переработки», когда отходы успешно перерабатываются во вторичное сырье, пригодное к повторному его использованию в какой-то новой продукции.

Для окончательной переработки накопленного и вновь образующегося осадка сточных вод была применена технология компостирования (рис. 4).

На выделенной территории устраивается площадка с асфальтобетонным покрытием для размещения буртов компостируемой смеси. Осадок из иловых карт на площадку для компостирования доставляется автосамосвалами. Процесс компостирования включает: подготовку вспомогательных материалов, приготовление компостирующей смеси, биотермическую обработку в течении определенного времени, созревание компоста.

Продолжительность компостирования осадков сточных вод составляет в естественных условиях – 1–3 месяца при положительной температуре окружающего воздуха. Зимой компост созревает 3–4 месяца.

При снижении температуры массы компостируемого осадка в бурте до 25–30°C необходимо провести аэрацию смеси путем смешивания слоев.



Рис. 4. Изменение технологического процесса обработки осадка

Такая технология позволяет достигнуть следующих преимуществ по сравнению с традиционной:

- образуется качественный продукт, а не отходы;
- улучшается структура ила – образуется структура близкая к рыхлой почве, уменьшается влажность;
- компост легче транспортировать и смешивать с почвой или равномерно распределить на ней;
- у готового компоста нет неприятного запаха;
- уменьшение площадей для хранения, освобождение иловых площадок;

В результате многолетнего поиска способа утилизации осадка специалистами УП «Витебскводоканал» были разработаны «Технологические условия» ВУ 300003249.001-2009 на использование данного осадка при рекультивации нарушенных земель и полигонов твёрдых бытовых отходов, в зелёном строительстве, промышленном цветоводстве, декоративных и лесных питомниках».

### Выводы

Таким образом, внедрение современных экологических технологий на основных этапах процесса очистки сточных вод позволит получить следующие результаты:

1. Предотвратить экологические риски загрязнения вод бассейна реки Западная Двина.

2. Снизить объёмы хранящегося осадка на иловых площадках и выбросы в окружающую среду вредных веществ.

3. Снизить неблагоприятное экологическое воздействие на Балтийское море, предупредить процессы эвтрофикации.

4. Улучшить уровень жизни населения г. Витебска и прилегающих территорий в акватории реки Западная Двина и Балтийского моря.

#### Литература

1. Воронов, Ю. В., Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Издательство АСВ, 2006. 704с.
2. Долина, Л. Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: монография; Днепрпетровск: Континент, 2011. 198 с.
3. Конвенция по защите природной морской среды района Балтийского моря 1992 г.», <http://www.helcom.ru/media/helcon.pdf> (дата обращения: 10.05.2018).
4. Куприянчик Т. С., Галузо А. В., Ющенко В. Д. Изучение возможности применения многозонной биологической очистки сточных вод от биогенных элементов на станции аэрации г. Витебска // Вестник Полоцкого государственного университета, 2016. с. 120–125.
5. Луценко Г. Н., Цветкова А. И., Свердлов, И. Ш. Физико-химическая очистка городских сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. 88 с.
6. Минприроды. Экологические нормы и правила. Охрана окружающей среды и природопользование. Требование экологической безопасности. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Минск, 2017. 305 с.
7. Мишуков, Б. Г., Соловьева, Е. А. Глубокая очистка городских сточных вод. СПб: СПбГАСУ, 2014. 178 с.
8. Preliminary investigation of primary sludge hydrolysis. Regimantas Dauknyš, Aušra Mažeikienė, Anna Haluza, Ilia Halauniou, Victor Yushchenko. "Environmental Engineering" 10th International Conference. Vilnius Gediminas Technical University. Lithuania, 27–28.
9. Соловьева, Е. А. Удаление азота и фосфора из городских сточных вод, AP Lambert, Academic Publishing GbmH Germany, 2011. 213 с.
10. Хенце, М. Очистка сточных вод, биологические и химические процессы. М.: Мир, 2009. 480 с.
11. Ющенко В. Д., Куприянчик Т. С. Галузо А. В. Особенности изменения количества и состава сточных вод, поступающих на очистные сооружения г. Витебска. // Сб. материалов IV-й МНПК «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания». Брест, 2013. С 132–135.
12. Ющенко В. Д., Галузо А. В. К вопросу реагентной обработки сточных вод для удаления фосфорных соединений // Актуальные проблемы градостроительства и благоустройства территории – 2016: международная научно-техническая конференция. Кишинёв, 2016. С 127–133.

#### УДК 628.218

Святослав Викторович Федоров,  
канд. техн. наук, доцент  
Анна Максимовна Телятникова,  
аспирант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: [svyatoslavfedorov@mail.ru](mailto:svyatoslavfedorov@mail.ru),  
[sik3000@list.ru](mailto:sik3000@list.ru)

Sviatoslav Viktorovich Fedorov,  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
Anna Maksimovna Teliatnikova,  
post-graduate student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: [svyatoslavfedorov@mail.ru](mailto:svyatoslavfedorov@mail.ru),  
[sik3000@list.ru](mailto:sik3000@list.ru)

### ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ СЕРОВОДОРОДА НА УЧАСТКЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

#### ASSESSING THE INTENSITY OF OUTGASSING OF HYDROGEN SULFIDE ON THE SEWER NETWORK

В работе рассмотрены вопросы моделирования процесса выделения сероводорода из потока сточной жидкости на участке канализационной сети. Описан процесс конструирования расчетной области, построения расчетной сетки, задания начальных и граничных условий и обработки результатов модели двухфазного движения «газо-воздушная среда-жидкость». Были выполнены модели с различным диаметром трубопровода. В дальнейшем, проводилась качественная и количественная верификация результатов с помощью таблиц гидравлического расчета. Получены зависимости интенсивности газовой выделенности от уклона трубопровода и его заполнения. Также в расчете получены данные по полю давления в подсводном пространстве, а также поля скоростей жидкого потока и газо-воздушной среды.

*Ключевые слова:* моделирование, канализация, сероводород, ANSYS CFX, интенсивность газовой выделенности, экологическая безопасность.

The paper considers modeling of hydrogen sulfide emission from wastewater stream at a section of a sewerage network. The process of making the computational domain, creating the calculation mesh, setting initial and boundary conditions and processing the results of the two-phase model "gas-air environment – liquid" is described. Models with different pipeline diameters were made. Hereinafter, qualitative and quantitative verification of the results was carried out using hydraulic calculation tables. The dependences of the gas emission intensity on the slope of the pipeline and its filling are derived. Also in the calculation the data of the pressure field in the sewer headspace, as well as the velocity field of the liquid flow and gas-air environment are obtained.

*Keywords:* modeling, sewerage, hydrogen sulfide, ANSYS CFX, gas emission intensity, environmental safety.

Накопленный к настоящему времени практический опыт показывает, что в результате транспортировки сточных вод по канализационной сети происходит систематическое выделение вредных токсичных газов в подсводное пространство трубопроводов и колодцев [1, 2]. Данный процесс существенно ухудшает экологическую и санитарную обстановку городской среды [3–5]. Поэтому, очень важно при проектировании канализационной се-

ти выполнять не только гидравлический расчет, учитывающий соблюдение допустимой скорости и заполнения, но и расчет процессов генерации и распространения газов (сероводород, метан, аммиак, углекислый газ). Сегодня, подобные задачи инженерам позволяют решать пакеты конечно-элементного анализа, поскольку сочетают в себе инструментарий для конструирования сложных сооружений и моделирования процессов массообмена [6].

В настоящей работе для оценки интенсивности процесса выделения сероводорода из потока сточной жидкости использовалась программа *Ansys CFX*. В рамках исследования рассматривался отдельный участок канализационной сети, на котором моделировалось движение двухфазного потока «сточная вода-газовоздушная смесь».

Сконструированная расчетная область моделирования (рис. 1) выполнена, как твердое тело, имитирующее внутреннее воздушное пространство сети. Рассматриваемый участок сети представлен двумя смотровыми колодцами и соединяющим их трубопроводом диаметром  $d$ , проложенный с уклоном  $i$ . Расстояние в осях между колодцами составляет 50 м.

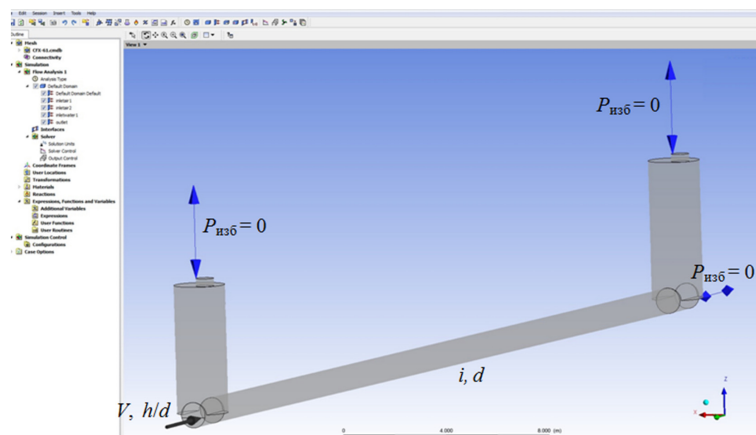


Рис. 1. Расчетная схема участка канализационной сети

Генерация расчетной сетки производилась при помощи модуля *Mesh*. В местах контакта сточной воды с поверхностью лотка трубопровода применялась настройка *Inflation*, которая уточняла сетку и позволяла повысить качество моделирования пограничного слоя потока.

Важно отметить, что процесс моделирования предполагает поступление в расчетную область через начальный колодец смеси воды и сероводорода. При этом выполняется решение нестационарной задачи до момента наступления установившегося движения.

Для моделирования втекающего потока задавались следующие граничные и начальные условия. В первом по ходу движения колодце на поверхности поперечного сечения трубопровода было создано граничное условие *Inlet*, учитывающее заполнение  $h/d$  и скорость входящего потока  $V$ . Соотношение объемных долей воды и сероводорода определялось через настройку *Volume Fraction* и задавалось таким образом, чтобы концентрация сероводорода в поступающем потоке составляла  $1 \text{ кг/м}^3$ . Поступление и удаление газо-воздушной смеси из расчетной области обеспечивалось за счет двух граничных условий *Opening*, имитирующих наличие атмосферы на поверхности люков колодцев (избыточное давление отсутствует,  $P_{\text{изб}} = 0$ ). Выход потока из расчетной области также обеспечивается граничным условием *Opening* ( $P_{\text{изб}} = 0$ ), которое назначено в плоскости трубопровода в нижнем по ходу течения колодце. В качестве начального принято условия отсутствия в расчетной области жидкостного потока, в начальный момент времени в расчетной области присутствует только газо-воздушная смесь с  $P_{\text{изб}} = 0$ .

В рамках настоящей работы проводилась серия модельных расчетов для различных диаметров ( $d = 400; 600, 800, 1000 \text{ мм}$ ), степени заполнения трубопроводов ( $h/d = 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8$ ) и уклонов ( $i = 0,002; 0,004; 0,006; 0,008$ ). В ходе моделирования были получены поля скоростей и давлений газо-воздушной и водной фазы, а также объемные соотношения каждой фазы в расчетной области (рис. 2). На рисунке красной цветом обозначена жидкая фаза, синяя область представляет собой газо-воздушную смесь. При построении векторного поля движения фаз фиксировалось увлечение газо-воздушной среды в подводящее пространство трубопровода через граничное условие *Opening* в колодце.

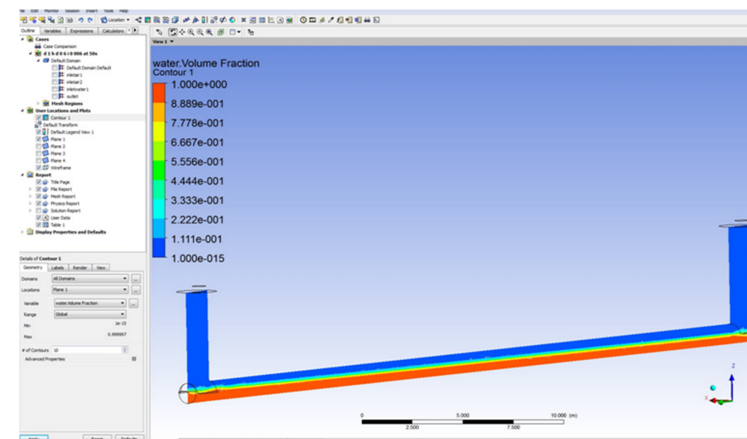


Рис. 2. Результат моделирования потока воды в трубе диаметром 1000 мм с заполнением  $h/d = 0,6$  и уклоном  $0,006$

По соотношению объемных долей в расчетной области производилась качественная оценка результатов моделирования с использованием таблиц А. А. Лукиных [7]. Величина интенсивности выделения сероводорода оценивалась при помощи соотношения его массового расхода на входном граничном условии расчетной области и на плоскости, которая совпадает со свободной поверхностью воды при установившемся движении.

Изменение интенсивности газовыделения сероводорода (И, %) в зависимости от уклона  $i$  и заполнения  $h/d$  представлено на рис. 3. В качестве примера представления результатов выбрана труба диаметром  $d = 1000$  мм. Общие тенденции говорят о том, что при увеличении уклона трубопровода и степени его заполнения наблюдается снижение интенсивности. Первая закономерность объясняется увеличением скорости жидкой фазы, в результате чего большее количество газа не успевает покинуть поток и выносятся за пределы расчетной области.

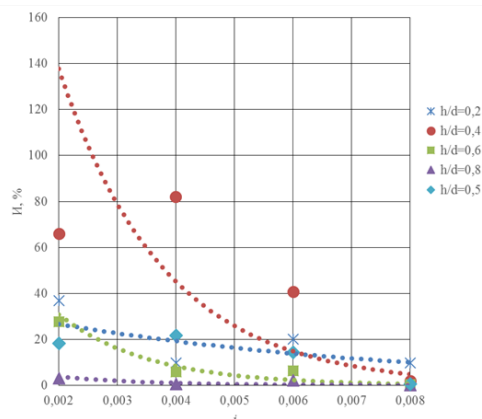


Рис. 3. График зависимости интенсивности выделения сероводорода (И) из потока воды от заполнения ( $h/d$ ) и уклона ( $i$ ) трубы диаметром 1000 мм

Вторая закономерность может быть объяснена процессом снижения давления в подсводном пространстве трубопровода. Зависимость давления от величины заполнения отражена на графике (рис. 4). Важно отметить, что при снижении давления, происходит возрастание увлекающей способности потока жидкости, в результате чего на поверхности воды формируется воздушное течение, препятствующее выходу газа из водной фазы.

Сохранение рассмотренных тенденций наблюдается и для диаметров трубопроводов  $d = 400, 600$  и  $800$  мм.

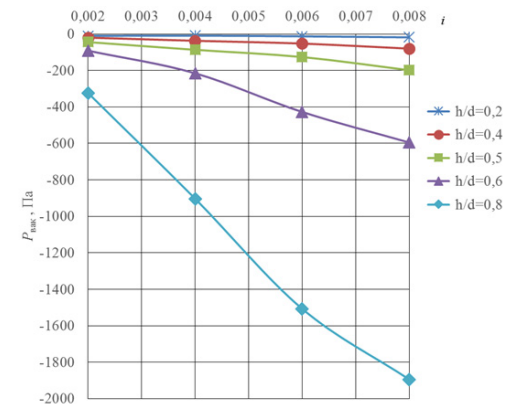


Рис. 4. График зависимости давления в подсводном пространстве трубы диаметром 1000 мм от заполнения ( $h/d$ ) и уклона ( $i$ )

В данной работе была выявлена закономерность между интенсификацией процесса газовыделения и такими основополагающими характеристиками сети, как уклон  $i$  и заполнение  $h/d$ . Выполнена численная оценка действия этих факторов. В дальнейшем, полученный опыт и графические зависимости помогут сформулировать общую математическую закономерность для расчета процессов генерации и распространения газов.

### Литература

1. Васильев В. М., Ильина О. М., Верхотуров В. П. Влияние массообменных процессов на загрязненность воздуха в канализационных коллекторах // Вестник гражданских инженеров. 2007. № 2. С. 80–82.
2. Дрозд Г. Я., Хвортова М.Ю. Методика определения качества эксплуатационной среды канализационных коллекторов // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 5 (9). С. 77-84.
3. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 году». URL: <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/217166220/>
4. Отчет о состоянии окружающей среды городского округа – город Волжский Волгоградской области в 2016 году. URL: <http://oblkomprroda.volgograd.ru/current-activity/analytics/reports/>
5. Bulet-Vienney D., Chinniah Y., Roberge B. Occupational safety during interventions in confined spaces // Safety Science. 2015. №79. С. 19–28.
6. Федоров С. В., В. М. Васильев, Телятникова А. М. Разработка принципиальной модели канализационной сети // Вестник гражданских инженеров. 2018. №2 (67). С. 168–174.
7. Лукиных А. А., Лукиных Н. А. Таблица для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Н. Н. Павловского. Изд. 4-е, доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 156 с.

УДК 574:378

Людмила Ивановна Цветкова,  
д-р биол. наук, профессор  
Светлана Витальевна Макарова,  
канд. биол. наук, доцент  
Тамара Николаевна Барышникова,  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: water@spbgasu.ru

Liudmila Ivanovna Tzvetkova,  
Dr. of Biol.Sci., Professor  
Svetlana Vitalievna Makarova, PhD of Biol.  
Sci., Associate Professor  
Tamara Nicolaevna Baryshnikova,  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
Of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: water@spbgasu.ru

## ЕЩЁ РАЗ О ПРОБЛЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

### ONCE AGAIN ABOUT THE PROBLEMS OF ECOLOGICAL EDUCATION

Дисциплина «Экология» была включена в учебные планы технических вузов в 1994 г. В настоящее время высшие учебные заведения самостоятельно формируют учебные планы, опираясь на федеральные государственные образовательные и профессиональные стандарты. В действующих стандартах отсутствуют указания на то, что выпускники должны обладать экологическими знаниями и соответствующими «компетенциями». Кроме того, в 2013 г. утратила силу ст.72 Закона «Об охране окружающей среды» (№7-ФЗ, 2002 г.) о преподавании экологии и природоохранных дисциплин в учебных заведениях. Все это дает возможность исключить экологию из списка обязательных предметов, что сейчас и происходит. Как показывают результаты опросов студентов, уровень экологических знаний, полученных ими в школах и техникумах, крайне низок. Создаётся впечатление, что в нашей стране взят курс на сворачивание программы всеобщего экологического образования, которое наряду с экологическим просвещением и воспитанием отдается на откуп общественным организациям и волонтерским движениям, то есть, дилетантам. Несмотря на это, кафедра водопользования и экологии продолжает уделять большое внимание экологическому образованию студентов различных специальностей, так как подготовка специалистов, не обладающих экологическими знаниями, противоречит современным общемировым тенденциям развития общества.

*Ключевые слова:* экология, экологическое образование, образовательные стандарты, учебные планы, технические вузы

The discipline "Ecology" is taught in technical universities since 1994. Currently, higher educational institutions form curricula taking into account the state educational and professional standards. Ecological knowledge and competences of graduates in these standards are absent. In 2013 the Article 72 about teaching ecological knowledge and nature protection disciplines in educational institutions was excluded from the Law on environmental protection. It seems that in our country the program of general ecological education is closed up. Despite it, the Department of Water Use and Ecology pays much attention to ecological education of students of all specialties. Training of specialists, not having ecological knowledge contradicts world tendencies of the society development.

*Keywords:* ecology, ecological education, curricula, educational standards, technical universities

Преподавание экологии во всех учебных заведениях Российской Федерации началось более 20 лет назад после вступления в силу Закона «Об охране окружающей природной среды» (1991 г.). В 1994 г. дисциплина «Экология» была включена и в учебные планы технических вузов, что имело особое значение, так как именно технический прогресс оказывает наибольшее влияние на экологическое состояние окружающей природной среды. Экология входила в обязательный перечень предметов математического, естественнонаучного и общетехнического цикла наряду с математикой, физикой, химией, информатикой, теоретической механикой; содержание дисциплины определялось Государственным стандартом ЕНФ-5.

Упомянутый выше Закон, как и пришедший ему на смену в 2002 г. Закон «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ, предусматривал раздельное преподавание общетеоретических основ экологии, обязательных для всех обучающихся, и смежных прикладных природоохранных дисциплин, применительно к выбранной специальности:

Закон «Об охране окружающей природной среды» (1991)	Закон «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ (2002)
<p><b>Статья 74.</b> Обязательность преподавания экологических знаний в учебных заведениях</p> <p>1. Овладение минимумом экологических знаний, необходимых для формирования экологической культуры граждан, во всех дошкольных, средних и высших учебных заведениях, независимо от их профиля, обеспечивается обязательным преподаванием основ экологических знаний.</p> <p>2. В соответствии с профилем в специальных средних и высших учебных заведениях предусматривается преподавание специальных курсов по охране окружающей природной среды и рациональному природопользованию.</p>	<p><b>Статья 72.</b> Преподавание основ экологических знаний в образовательных учреждениях</p> <p>1. В дошкольных образовательных учреждениях, общеобразовательных учреждениях и образовательных учреждениях дополнительного образования независимо от их профиля и организационно-правовых форм осуществляется преподавание основ экологических знаний.</p> <p>2. В соответствии с профилем образовательных учреждений, осуществляющих профессиональную подготовку, переподготовку и повышение квалификации специалистов, обеспечивается преподавание учебных дисциплин по охране окружающей среды, экологической безопасности и рациональному природопользованию.</p>

Как уже неоднократно отмечалось [1–4], теоретическая экология и прикладные дисциплины, такие как «Охрана окружающей среды», «Экологическая безопасность», «Рациональное природопользование» и др. – взаимосвязанные, но разные предметы. Природоохранные дисциплины – это спецкурсы, должны читаться студентам после знакомства с основами общей экологии и профильными дисциплинами, соответствующими их будущей специальности.

Однако в учебных планах вузов, как правило, отсутствует разграничение основ общей экологии и спецкурсов, которые объединяются в одну об-

шую дисциплину под названием «Экология». Более того, для некоторых технических специальностей под видом экологии читались только прикладные дисциплины, рассматривающие антропогенное воздействие на окружающую среду (в основном, вопросы, связанные с загрязнением), а теоретические основы опускались.

На практике, в непрофильных вузах экология из науки, имеющей свой конкретный предмет исследования, цели и задачи, превращается в конгломерат из разрозненных узкоспециальных сведений из сопредельных прикладных дисциплин и вырванных из логического контекста отдельных положений общей экологии. Это привело к тому, что термин «экология» стал восприниматься как синоним понятий «окружающая среда», «охрана окружающей среды», «состояние окружающей среды», «рациональное природопользование», что свидетельствует о неэффективности экологического образования в целом и крайне низкой экологической грамотности общества.

Преподавание экологии в технических вузах до сих пор сопряжено с целым рядом трудностей, связанных с отсутствием единого взгляда на содержание дисциплины у специалистов естественнонаучных и технических направлений, неопределенностью понятий и т. п. Инженеры не всегда понимают необходимость научно обосновывать природоохранные мероприятия в соответствии с фундаментальными законами экологии, что часто приводит к принятию неэффективных и экономически разорительных решений.

Экологическое образование в высших учебных заведениях должно осуществляться на базе среднего (или среднего профессионального) образования. Но насколько оно является эффективным с точки зрения получения экологических знаний?

На этот вопрос в какой-то мере отвечают результаты опросов студентов Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ), приступающих к изучению курса экологии. За три года (2016–2018 гг.) в опросе приняли 445 человек.

На вопрос «Изучались ли вами основы экологии в школе?» положительный ответ дали менее половины респондентов: в 2016 и 2018 гг. – по 45 %, а в 2017 г. – 35 %. При этом только 10 % всех опрошенных смогли более или менее правильно сформулировать содержание этой науки («наука о взаимоотношениях организмов между собой и с окружающей средой», «наука об экосистемах»). Подавляющее большинство считает, что экология – это наука о состоянии и охране окружающей среды. Примерно половина студентов (57%) думает, что экологию в вузе преподают «для бережного отношения к природе», а 25,8% полагают, что экология нужна «для общего развития» и не видят возможности практического применения полученных знаний в будущей профессиональной деятельности. Никто не связывает изучение экологии в вузе с необходимостью научного обоснования разрабатываемых природоохранных мероприятий и использования ее фундаментальных законов в этой деятельности.

Результаты опроса не являются неожиданными. Если обратиться к списку учебников, рекомендованных Министерством образования и науки [5] для общеобразовательных школ, включающему более 1000 наименований, то в нем можно обнаружить всего четыре учебника с названием «Экология». Этот предмет преподается в 10–11 классах, но только в специализированных школах. В рамках стандартных образовательных программ экологические знания, обучающиеся должны получать в основном на уроках биологии. Однако, учитывая тот факт, что биология, химия и география традиционно воспринимаются школьниками как «второстепенные», ожидать от выпускников глубоких знаний по этим предметам не приходится.

Что касается среднего профессионального образования, то список учебной литературы, рекомендованной Федеральным институтом развития образования (ФИРО) в 2018/2019 учебном году содержит один учебник с названием «Экология» и один – «Биология с основами экологии и природоохранной деятельности» (в разделе «Общеобразовательные предметы»). Специальные дисциплины представлены также двумя наименованиями – «Экологические основы природопользования» и «Экология и автомобиль» [6]. Однако следует отметить, что углубленное изучение как теоретической экологии, так и смежных прикладных дисциплин осуществляется, например, в средних образовательных учреждениях МЧС.

Перспективы экологического образования в нашей стране выглядят, мягко говоря, неопределенно. Согласно Федеральному Закону «Об образовании в Российской Федерации» (№ 273-ФЗ от 29.12.2012), вузы наделяются практически неограниченной свободой при формировании программ и учебных планов, основывающихся на федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС). Это позволяет методическим комиссиям технических вузов, состоящих, как правило, из экологически неподготовленных специалистов не только постоянно урезать аудиторные часы на дисциплину «Экология», но и полностью отказаться от ее преподавания. Так, например, при переходе к двухуровневой системе образования (бакалавриат-магистратура) экология была исключена из учебных планов специальностей архитектурного и экономического факультетов СПбГАСУ.

Если в образовательных стандартах третьего поколения (ФГОС 3) экология (или ее «разновидности»: архитектурная экология, градостроительная экология, экология среды) еще фигурировала в списках обязательных дисциплин, то в стандартах следующего поколения (ФГОС 3+) списки дисциплин были упразднены. Учебные планы следовало составлять в соответствии с весьма расплывчатыми «компетенциями» (общекультурными, общепрофессиональными, профессиональными), которые должны приобрести выпускники. «Экологические» или «природоохранные» компетенции стандартами не предусматривались. Вступившие в силу новые образовательные стандарты (ФГОС 3++) обязывают учебные заведения формировать учебные планы уже с учетом действующих профессиональных стандартов, что практически ис-

ключает возможность сохранить экологию как общеобразовательную дисциплину в технических вузах. Тем более, что статья о преподавании экологии в учебных заведениях и разграничении преподавания основ общей экологии и специальных прикладных дисциплин (ст.72 Закона РФ №7-ФЗ от 10.01.2002) утратила силу еще в 2013 г. [7].

Наш многолетний опыт преподавания экологии показывает, что студенты, несмотря на очень небольшое количество аудиторных часов, отведенных на изучение дисциплины, проявляют живой интерес к экологическим проблемам. Ежегодно с 2009 г. студенты различных специальностей принимают участие в Региональной предметной олимпиаде по экологии, показывая неплохие результаты. В 2010 году студентка нашего вуза вошла в тройку призеров олимпиады.

Студенты, обучающиеся по программам бакалавриата, регулярно участвуют в студенческих научных конференциях с докладами на экологические темы. Например, в 2016 г. на 69-й Научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых студентка строительного факультета из Монголии Номин-Эрдене Сухбаатар сделала доклад «Экологические проблемы республики Монголии», подготовленный под руководством доцента кафедры водопользования и экологии Т. Н. Барышниковой. Данный материал затем был представлен на Научно-практической конференции «Наше участие в развитии нашей Родины», посвященной 95-летию установления дипломатических отношений между Россией и Монголией, организованной для студенческой молодежи Монголии, обучающейся в Российской Федерации. Доклад занял IV место, а его автор была награждена памятными подарками.

Большое внимание на кафедре водопользования и экологии уделяется экологической подготовке магистрантов. В учебные планы магистратуры по направлениям «Строительство» (программа «Водоснабжение и водоотведение») и «Природообустройство и водопользование» включены такие дисциплины как «Экологический мониторинг водных объектов», «Специальные вопросы химии воды и микробиологии».

Магистранты кафедры неоднократно принимали участие в Международном молодежном экологическом конгрессе «Северная Пальмира», организуемом Научно-исследовательским центром экологической безопасности РАН (НИИЦЭБ) с докладами об экологическом состоянии северного курортного побережья восточной части Финского залива и Рыбинского водохранилища, подготовленными под руководством доцента С.В. Макаровой. Выпускные квалификационные работы бакалавров и магистерские диссертации, выполненные на кафедре, посвящены не только вопросам водоснабжения и водоотведения, но включают и экологические аспекты.

Подготовка специалистов, не обладающих экологическими знаниями, противоречит современным общемировым тенденциям развития общества. Однако создается впечатление, что в нашей стране взят курс на сворачивание

программы всеобщего экологического образования. Об этом свидетельствуют соответствующие изменения как в правовой, так и в образовательной сфере. Экологическое образование, просвещение и воспитание отдается на откуп общественным организациям, волонтерским движениям, то есть, дилетантам.

В Советском Союзе девизом взаимоотношения человека с окружающей природной средой были слова известного биолога и селекционера И. В. Мичурина: «Мы не можем ждать милостей от природы, взять их у нее – наша задача». Нельзя допустить, чтобы современное общество вновь стало руководствоваться этим принципом, необходимо искать компромисс между экономическими и экологическими интересами. Основная цель экологического образования – научить будущих специалистов научно обосновывать эффективные и экономически целесообразные природоохранные мероприятия, а это невозможно сделать без знания основ фундаментальной экологии и понимания процессов, протекающих в природных экосистемах, которые являются наилучшими моделями для всех технологических решений в области охраны окружающей среды.

Нельзя возвращать общество в состояние, о котором писал академик Г. А. Ягодин: «Сегодня в нашей стране сложилась парадоксальная ситуация, когда три поколения россиян оказались на одном уровне знания, а вернее незнания своей среды обитания и правил взаимодействия с ней» [8].

#### Литература

1. Цветкова Л. И., Копина Г. И., Макарова С. В., Барышниковая Т. Н. Экологическая культура и экологическое образование // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. №2. С. 79–89. 0
2. Макарова С. В., Барышниковая Т. Н. К вопросу об эффективности экологического образования // Архитектура – строительство – транспорт: материалы 73-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 4–6 октября 2017 г. Ч. II. Транспортные и инженерно-экологические системы. СПбГАСУ: СПб, 2017. С. 137–141
3. Макарова С. В., Цветкова Л. И., Барышниковая Т. Н. Проблемы «всеобщего» экологического образования // «Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы»: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2017. С. 482–487
4. Цветкова Л. И., Копина Г. И., Макарова С. В. Проблемы экологического образования в технических вузах // Сборник материалов XIX Международного экологического форума «День Балтийского моря (22–23 марта 2018 г., Санкт-Петербург)». СПб: ООО «Свое издательство», 2018. С. 193.
5. Приказ Минобрнауки России от 31.03.2014 N 253 (ред. от 05.07.2017) "Об утверждении федерального перечня учебников, рекомендуемых к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования". URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_162928](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162928) (дата обращения 28.09.2018).

6. Перечень учебных изданий для ОО СПО. ФГБУ «Федеральный институт развития образования (ФИРО)» Министерства образования и науки РФ. URL: [http://www.firo.ru/?page\\_id=10964](http://www.firo.ru/?page_id=10964) (дата обращения 28.09.2018).

7. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу законодательных актов (отдельных положений законодательных актов) Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона Об образовании в Российской Федерации» от 02.07.2013 N 185-ФЗ.

8. Ягодин Г.А. Некоторые аспекты экологического образования в школе // Развитие непрерывного экологического образования. М.: МНЭПХ, 1995. С. 26–29.

#### УДК 628.218

*Андрей Александрович Орешин*, начальник службы водного баланса Дирекции «Водоотведение Санкт-Петербурга» (ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга») *Светлана Юрьевна Игнатчик*, д-р. техн. наук, профессор *Алина Яновна Феськова*, студент (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет) *E-mail: office@vodokanal.spb.ru, ign73@yandex.ru, alinafesikova@gmail.com*

*Andrey Aleksandrovich Oreshin*, Head of Water Balance Unit, Wastewater Disposal Directorate (SUE «Vodokanal of St.Petersburg») *Svetlana Yurievna Ignatchik*, Dr of Tech. Sci., Professor *Alina Yanovna Feskova*, student (Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering) *E-mail: : office@vodokanal.spb.ru, ign73@yandex.ru, alinafesikova@gmail.com*

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗОВ ВЫПАДЕНИЯ ДОЖДЕЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

#### THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF IRREGULARITY AND RELIABILITY OF FORECAST RAINFALL IN SAINT-PETERSBURG

При эксплуатации общесплавных систем водоотведения в режиме реального времени решаются две оптимизационные задачи:

– первая задача – минимизация затрат на транспортировку сточных вод, расход которых носит случайный характер. Поэтому планирование динамических графиков нагрузок (резервирование и потребление электроэнергии) осуществляется в условиях нечетко сформулированных прогнозных данных о выпадении дождей, достоверность которых количественно не оценивалась;

– вторая задача – минимизация сбросов сточных вод в водоемы через ливнеспуски в периоды сверхрасчетных дождей. Для ее решения используют узлы перераспределения стока между бассейнами водоотведения, эффективность которых зависит от неравномерности выпадения и распределения по площади атмосферных осадков, которые, в свою очередь, изучены недостаточно.

Поэтому авторами совместно с сотрудниками филиала «Водоотведение» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» проведены экспериментальные исследования неравномерности выпадения и достоверности прогнозов выпадения дождей в Санкт-Петербурге, результаты которых представлены в настоящей статье.

*Ключевые слова:* прогноз, сверхрасчетные дожди, общесплавная система водоотведения, исследование, эксплуатация, ливнеспуск.

When operating a combined drainage system in the real time mode, two optimizing tasks are solved:

– First task – minimization of wastewater transportation costs, whose consumption is random. Therefore, the planning of dynamic load graphs (reservation and consumption of electric power) is carried out in conditions of uncertain rainfall forecast data, which reliability was not evaluated quantitatively;

– Second task – minimization of wastewater discharges into reservoirs through the storm-overflow sewers during the supersettlement rainfall. To solve it, the hubs of the redistribution of wastewater between sewer catch basins, the effectiveness of which depends on irregularity of rainfall and distribution on the area of an atmospheric precipitation, which are studied insufficiently.

Therefore, authors together with the employees of the «Wastewater Disposal Branch» of SUE «Vodokanal of St. Petersburg» carried out experimental research of irregularity and reliability of forecast rainfall in Saint-Petersburg, the results of which are given in this article.

*Keywords:* forecast, supersettlement rainfall, combined sewerage system, research, ex- pluation, storm-overflow sewers.

При эксплуатации общесплавных систем водоотведения в режиме реального времени решаются две оптимизационные задачи:

– первая задача – минимизация затрат на транспортировку сточных вод, расход которых носит случайный характер. Поэтому планирование динамических графиков нагрузок (резервирование и потребление электроэнергии) осуществляется в условиях не четко сформулированных прогнозных данных о выпадении дождей, достоверность которых количественно не оценивалась [1-4];

– вторая задача – минимизация сбросов сточных вод в водоемы через ливнеспуски в периоды сверхрасчетных дождей. Для ее решения используют узлы перераспределения стока между бассейнами водоотведения, эффективность которых зависит от неравномерности выпадения и распределения по площади атмосферных осадков, которые, в свою очередь, изучены недостаточно [5-8].

Поэтому авторами совместно с сотрудниками филиала «Водоотведение» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» проведены экспериментальные исследования неравномерности выпадения и достоверности прогнозов выпадения дождей в Санкт-Петербурге с целью обеспечения надежности и бесперебойности систем водоотведения в соответствии с требованиями федерального закона №416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» [9]. Результаты проведенных исследований представлены в настоящей статье.

Целью работы являлось повышение достоверности исходных данных о закономерностях неравномерности выпадения и распределения по площади атмосферных осадков, а также оценка достоверности их прогнозов.

Задачи исследований:

1) исследовать закономерности неравномерного выпадения осадков в Санкт-Петербурге в зависимости от времени года;



2) исследовать закономерности распределения садков по территории Санкт-Петербурга;

3) оценить достоверность прогнозов осадков.

Методика исследования закономерностей неравномерного выпадения осадков на территории Санкт-Петербурга в зависимости от времени года предусматривала:

- сбор статистической информации о выпадении дождей на территории Санкт-Петербурга. Для этого использовались данные архива погоды, размещенные на информационном ресурсе «Архив погоды в Санкт-Петербурге», см. [pr5.ru](http://pr5.ru);
- накопление базы данных статистической информации по интенсивностям дождей с интервалом 3 часа;
- формирование запросов из накопленной базы данных о распределении в течении года осадков различных интенсивностей;
- выявление закономерностей выпадения дождей в течение календарного года.

Итоговые результаты данного этапа работы в графическом виде представлены на рис. 1. На нем отражены суммарные объемы осадков по месяцам за 12 лет. Результат позволяет сделать вывод о том, что обильные осадки, выпадение которых может привести к сбросам сточных вод через ливнеспуски, происходит только в период года с мая по октябрь. По этой причине объемы сбрасываемых через ливнеспуски сточных вод в теплый период при прогнозировании и формировании лимитов на сброс допустимо определять в течение пяти месяцев [10].

Методика исследования закономерностей распределения осадков на территории Санкт-Петербурга предусматривала:

- сбор статистической информации о выпадении дождей на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на основании данных осадкомеров, предоставленных ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»;
- накопление базы данных статистической информации по интенсивностям дождей с интервалом 5 минут;
- формирование запросов из накопленной базы данных о распределении в течение года осадков различных интенсивностей на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области;
- выявление закономерностей выпадения дождей по территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Результатами исследования явились карты суммарного распределения осадков и по их количеству за 2016 и 2017 год. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты распределения по территории Санкт-Петербурга суммарных осадков в 2016 г.

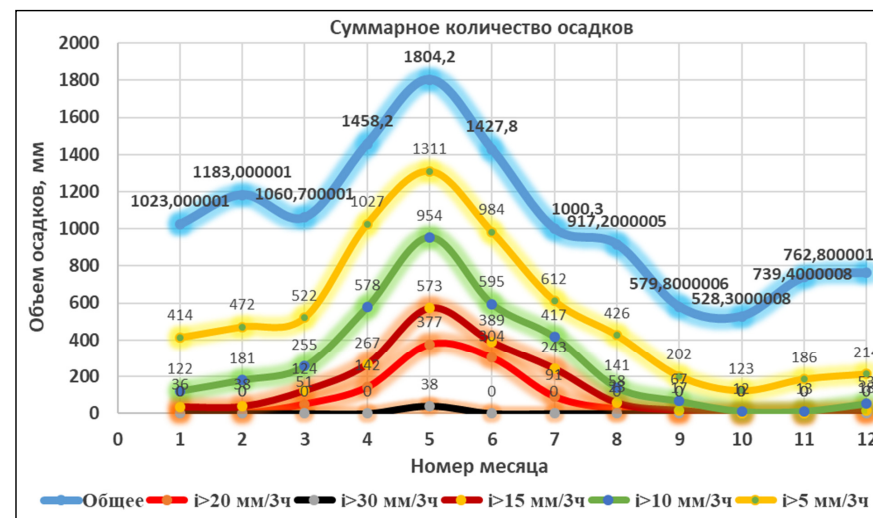


Рис. 1. График общего объема осадков и объема осадков при заданных интенсивностях по месяцам за 12 лет

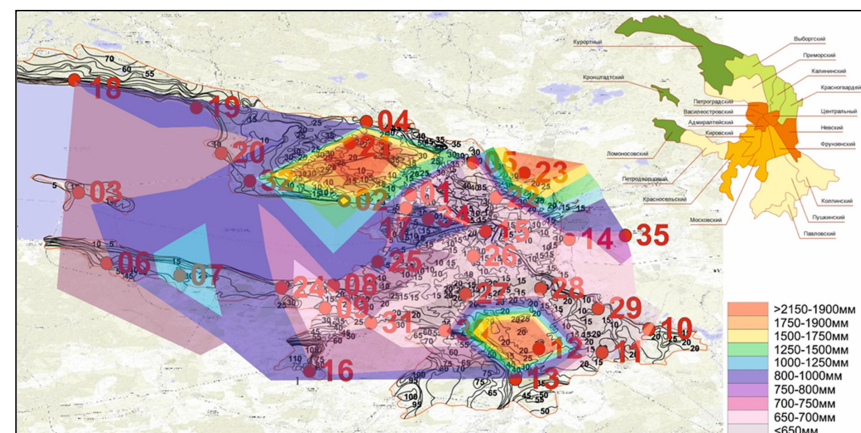


Рис. 2. Карта суммарных объемов осадков за 2016 год

Результат этого этапа исследований позволяет сделать вывод о том, что:

- наибольшее суммарное количество осадков выпадает перед возвышенностями, расположенными в районах расположения осадкомеров № 12, 23, 5, 4 и 21;

– наибольшее суммарное количество обильных осадков (интенсивность более 10, 8 и 6 мм/5 мин) выпадает в районах города, граничащих с Невской губой [10].

Методика исследования достоверности прогнозов распределения осадков на территории Санкт-Петербурга предусматривала:

– сбор статистической информации о выпадении дождей на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на основании данных осадкомеров, предоставленных ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в течение 2017 г.;

– сбор статистической информации о прогнозе за 30 часов выпадении дождей на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на основании данных Гидрометцентра;

– сбор статистической информации о прогнозе за 84 часа выпадении дождей на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области на основании данных Гидрометцентра.

Результатами исследования явились:

– график изменения во времени в течение апреля-августа 2017 года фактического объема выпавших осадков и их прогнозных значений за 30 и 84 часа. Для иллюстрации на рис. 3 приведены результаты подобного анализа для июля 2017 г.;

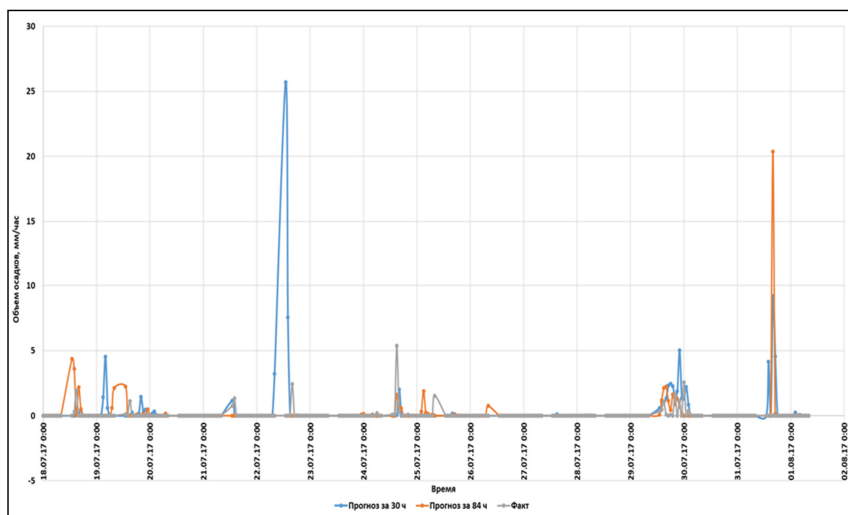


Рис. 3. Результаты сопоставительного анализа прогнозных и фактических объемов выпадения дождей

– график изменения во времени в течение апреля-августа 2017 года фактического суммарных объемов выпавших осадков и их прогнозных значений за 30 и 84 часа. Для иллюстрации на рис. 4 приведены результаты подобного анализа.

Результат этого этапа исследований позволяет сделать вывод о том, что:

– достоверность прогнозов выпавших осадков низкая и не повышается с уменьшением периода прогноза;

– при управлении потоками сточных вод в системе водоотведения Санкт-Петербурга целесообразно использовать в качестве исходных данных не прогнозные значения, а фактические (в режиме online) показания осадкомеров.

### Выводы

1. Обильные осадки, выпадение которых может привести к сбросам сточных вод через ливнепуски, происходит только в период года с мая по октябрь;

2. Распределение осадков по территории Санкт-Петербурга осуществляется неравномерно;

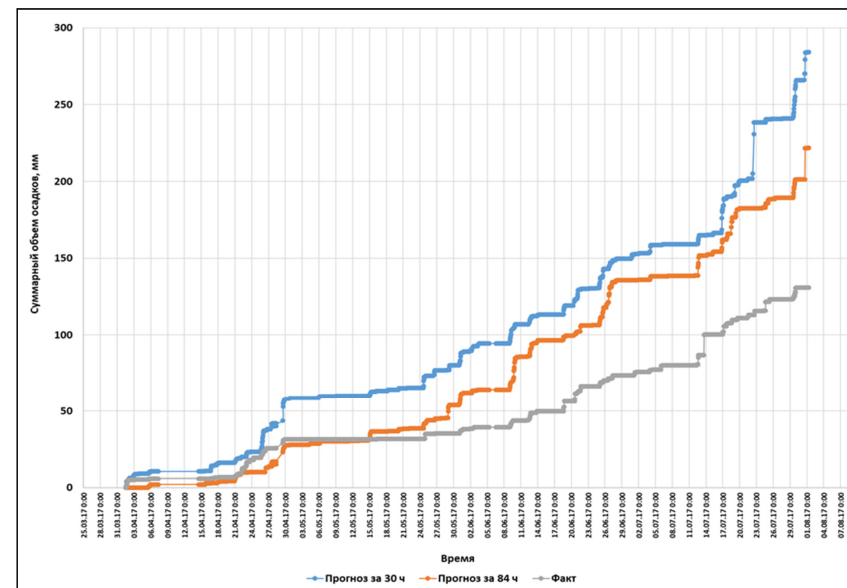


Рис. 4. Результаты сопоставительного анализа прогнозных и фактических суммарных объемов выпадения дождей

3. Наибольшее суммарное количество осадков выпадает перед возвышенностями, расположенными в районах расположения осадкомеров №12, 23, 5, 4 и 21;

4. Наибольшее суммарное количество обильных осадков (интенсивность более 10, 8 и 6 мм/5 мин) выпадает в районах города, граничащих с Невской губой;

5. Достоверность прогнозов выпавших осадков низкая и не повышается с уменьшением периода прогноза;

6. При управлении потоками сточных вод в системе водоотведения Санкт-Петербурга целесообразно использовать в качестве исходных данных не прогнозные значения, а фактические (в режиме online) показания осадкомеров.

#### Литература

1. Ивановский В. С., Кузнецова Н. В., Пенкина Н. Н., Спиваков М. А. Методика генерирования случайных процессов изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения // Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2018. № 660. С. 197–203.

2. Ивановский В. С., Игнатчик В. С., Игнатчик С. Ю., Кузнецова Н. В., Гринёв А. П. Методика оценки риска и объемов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду // Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2015. № 649. С. 167–174.

3. Кармазинов Ф. В., Трухин Ю. А., Пробирский М. Д., Куприянов А. Г., Ильин Ю. А., Игнатчик В. С., Игнатчик С. Ю., Шумов П. И. Система водоотведения мегаполиса. Патент на изобретение RUS 2438984 от 11.06.2010.

4. Игнатчик В. С., Седых Н. А., Гринев А. П. Экспериментальное исследование неравномерности притока сточных вод // Военный инженер. 2017. № 4. С. 22–28.

5. Гринёв А. П., Игнатчик В. С., Ивановский В. С., Игнатчик С. Ю., Кузнецова Н. В. Результаты экспериментального исследования неравномерностей поступления сточных вод // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 649. С. 153–158.

6. Кармазинов Ф. В., Шумов П. И., Гладковский А. В., Игнатчик В. С., Игнатчик С. Ю., Кузнецова Н. В. Система оценки водопритока. Патент на изобретение RUS 2637527 от 05.12.2017.

7. Кармазинов Ф. В. Повышение эксплуатационной надежности, управляемости и эффективности системы водоотведения крупного города: автореферат дис. доктора технических наук: 05.23.04. – Санкт-Петербург. 2000. 87 с.

8. Игнатчик С. Ю. Обеспечение надёжности и энергосбережения при расчёте сооружений для транспортирования сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 8. С. 56–62.

9. Российская Федерация. Федеральный закон от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении».

10. Игнатчик С. Ю., Феськова А. Я. Исследование закономерностей выпадения дождей в Санкт-Петербурге. Научно-исследовательский отчет по НИР. Шифр 44С/17. СПб: СПбГАСУ, 2017. 44 с.

#### УДК 628.27

Виктор Михайлович Васильев,  
д-р техн. наук, профессор,  
Геннадий Витальевич Морозов,  
аспирант,  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: 89119311522@bk.ru,  
projectmorozov@gmail.com

Viktor Mihailovich Vasilyev,  
Dr of Tech. Sci.,  
Gennadiy Vitalievich Morozov,  
post-graduate student,  
(St. Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: 89119311522@bk.ru,  
projectmorozov@gmail.com

### МЕТОДЫ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ САМОТЕЧНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### METHODS OF REPAIRING AND RENOVATION OF GRAVITY SEWER SYSTEMS

В статье рассмотрены существующие методы реконструкции самотечных канализационных трубопроводов. Статья написана на основе опыта эксплуатации и проектирования канализационных сетей в городе Санкт-Петербурге.

*Ключевые слова:* канализация, разрушения сетей канализации, реконструкция сетей канализации, бестраншейные методы, самотечные канализационные трубопроводы, провал грунта, эксплуатация канализационных сетей, проектирование канализационных сетей, инженерные сети.

The article is devoted to existing methods of repairing and renovation of gravity sewer systems. The article is based on experience of exploitation and designing sewer systems in St. Petersburg.

*Keywords:* sewage, deterioration of sewage systems, repairing of sewers, trenchless methods, gravity sewage systems, sinkhole, exploitation of sewers, designing sewage systems, engineering networks.

К концу 20-го началу 21-го века во всех крупных городах России и Европы окончательно сформировались централизованные системы канализации. К нынешнему моменту стало понятно, что построенные системы канализации не вечны, а срок службы канализационных трубопроводов намного меньше проектного из-за ошибок, допущенных при строительстве и при эксплуатации сетей. [3]

Разрушение канализационных трубопроводов наносит ежегодно многомиллиардный ущерб экономикам развитых и развивающихся стран. [6] Важнейшими задачами отрасли в 21-м веке является поддержание канализационных сетей в надлежащем состоянии, минимизация эксплуатационных затрат, увеличение срока службы трубопроводов, увеличение автономности в работе системы за счет современных средств автоматизации, контроля и анализа, путем своевременной и продуманной реконструкции. Для того, чтобы максимально продлить срок службы трубопроводов и не причинить

вреда параллельно идущим инженерным сетям, необходимо грамотно подбирать методы и способы реконструкции сетей, основываясь на опыте и анализе работы существующих.

Использование современных методов анализа и реконструкции сокращает эксплуатационные затраты, увеличивает прибыль водоснабжающих организаций, что приводит к увеличению инвестиций, появлению частных непрофильных компаний в данном секторе, появлению конкуренции и повышению качества обслуживания потребителей.

Методы реконструкции сетей, как и их строительства глобально можно подразделить на 2 основных типа: 1) траншейный, 2) бестраншейный.

Траншейный метод сводится к откопке траншеи, демонтажу старого трубопровода (либо участка трубопровода) и монтажу нового. Данный метод можно считать классическим и наиболее надежным.

Но в то же время такая реконструкция трубопровода труднореализуема в условиях современной городской среды, особенно такого мегаполиса, как Санкт-Петербург. В таких условиях траншейный метод необходимо применять в случае значительного смещения реконструируемого трубопровода в плане или профиле от проектного положения, при необходимости увеличения диаметра или при должном экономическом и техническом обосновании. Необходимо отметить, что при траншейном методе возможно не только восстановить трубопровод, а также восстановить и его основание, что особенно важно в условиях нестабильных грунтов.

Развитие городской инфраструктуры в 20-м веке послужило толчком к развитию бестраншейных технологий в области строительства и реконструкции систем водоснабжения и канализации [1, 2]. На данный момент не существует такой бестраншейной технологии, которая смогла осуществить данные требования к монтажу.

Зато бестраншейных способов восстановления канализационных трубопроводов огромное множество.

Дефекты в канализационных трубопроводах можно подразделить на местные (точечные) и продольные деформации. К местным дефектам можно отнести нарушения в стыках и незначительные по длине продольные и поперечные щели в теле трубы [5]. К продольным деформациям отнесем разрушения, проходящие по всей или практически всей длине трубы.

На данный момент на рынке присутствует множество оригинальных решений, позволяющих в кратчайшие сроки производить точечный ремонт самотечных трубопроводов без останковки их функционирования, а контроль за процессом осуществлять телевизионными установками.

Метод замены трубопровода позволяет устранить продольные деформации и ведётся с останковкой его функционирования.

В случае значительной деформации трубы и существенной потере несущей способности применяют метод протаскивания новой трубы в старую.

Протаскивание может вестись как с разрушением ветхого трубопровода, так и без разрушения.

Метод протаскивания новой трубы с разрушением старой – наиболее универсальный метод бестраншейной замены трубопроводов. С помощью данного метода восстанавливаются ветхие водоотводящие трубопроводы на участках длиной до 50 м из керамики, асбестоцемента, чугуна, бетона и стали путем замены их на полиэтиленовые [4].

В случае незначительного дефекта трубопровода без потери несущей способности и отсутствии смещений в плане и профиле можно использовать реновацию трубопровода методом нанесения на внутреннюю поверхность трубы тонкого (от 1 до 5 мм) полимерного слоя.

Можно выделить 3 основных способа нанесения данного слоя:

- 1) рукавный способ;
- 2) набрызговой способ;
- 3) спирально-навивной способ.

Для выбора бестраншейного метода необходимо ответить на три вопроса:

1. Точечный или продольный характер разрушения трубопровода?
2. Значительно ли деформировано сечение трубы?
3. Потеряли ли стенки трубы несущую способность?

На эти три вопроса позволяют ответить современные телеметрические установки.

Для снижения затрат на восстановление трубопровода необходимо вести непрерывный мониторинг состояния канализационных сетей. Особенно скрупулезно необходимо подходить к вопросу анализа аварии и выбору метода восстановления на трубопроводах, срок службы которых оказался слишком далёк от проектного. В данной ситуации необходимо изучить весь бассейн канализования и выяснить, что послужило катализатором данной проблемы. Возможно в данном случае необходимо изменить уклон трубопроводов, основания под ними или заменить материалы трубопроводов. Возможно необходимо провести более сложный анализ и провести реконструкцию всего бассейна.

В России на данный момент отсутствует унифицированная методика и нормативная документация по выбору и расчету методов и способов. А реконструкция трубопроводов ведётся по мере необходимости без должного анализа.

#### Литература

1. Абрамян С. Г., Ишмаматов Р. Х., Оганесян О. В. Краткий обзор бестраншейных технологий реконструкции трубопроводов. Часть 1. Методы реконструкции без разрушения трубопровода // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2016. № 4.

2. Абрамян С. Г., Ишмаматов Р. Х., Оганесян О. В. Краткий обзор бестраншейных технологий реконструкции трубопроводов. Часть 2. Методы реконструкции с разрушением трубопровода // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2016. №4.

3. Васильев В. М., Панкова Г. А., Столбихин Ю. В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №9. С. 67–76

4. Орлов В. А., Богомолова И. О., Гуреева И. С. Бестраншейная реновация ветхих трубопроводов путем протаскивания новых полимерных труб на место предварительно разрушенных // Вестник МГСУ. 2014. №7. С. 101–109

5. Орлов В. А., Орлов Е. В., Зверев П. В. Технологии местного бестраншейного ремонта водоотводящих трубопроводов // Вестник МГСУ. 2013. №7. С. 86–95

6. PA Tony Wells, Robert E Melchers and Phil Bond (Ed). Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers. Centre for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, Australia Advanced Water Management Centre, The University of Queensland, Australia, 2009

#### УДК 628.1

Юрий Александрович Феофанов,  
д-р техн. наук, профессор  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
А. В. Жуховицки, д-р техн. наук, профессор  
(Технологически-естественно-научный  
университет им. Яна и Енджея Сьнядзких  
в г. Быдгощ)  
E-mail: ufeofanov@rambler.ru

Yuri Alexandrovich Feofanov,  
Dr of Tech. Sci., Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
A. V. Zuchovitsky, Dr of Tech. Sci.,  
Professor  
(UTP University of Science  
and Technology)  
E-mail: ufeofanov@rambler.ru

### ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ И КУРОРТНЫХ ПОСЕЛКОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

#### FEATURES OF WATER CONSUMPTION MODES OF MAJOR CITIES AND RESORT SETTLEMENTS IN MODERN CONDITIONS

В статье рассмотрены некоторые особенности режимов водопотребления крупных городов и курортных поселков, а также проблемы, возникающие в настоящее время в системах подачи и распределения водопроводной воды этих населенных мест России и Польши. Освещены пути решения этих проблем для крупных городов, на примере мегаполиса Санкт-Петербурга, и малых поселений, на примере курортных городов Северного региона Польши.

*Ключевые слова:* водопотребление, системы водоснабжения, водопроводные сети, водоснабжение курортных городов.

The paper discusses some of the features of water consumption modes of big cities and resort settlements, as well as the problems that currently arise in the supply and distribution systems of tap water in these inhabited areas of Russia and Poland. Ways to solve these problems for big cities (the metropolis of St. Petersburg is taken as an example) and for small settlements (resort cities of the Northern region of Poland are taken as an example) are shown in the paper.

*Keywords:* water consumption, water supply systems, water supply networks, water supply of resort cities.

Водоёмкость валового внутреннего продукта Российской Федерации (2,4 м<sup>3</sup>/тыс. рублей) значительно выше, чем во многих странах с развитой экономикой, что является следствием нерационального использования водных ресурсов во всех сферах экономики России. Высоким является уровень потерь воды при ее транспортировке, например, в системах централизованного водоснабжения, из-за их неудовлетворительного технического состояния, теряется около 3 куб. км в год [1].

1. Состояние водопроводных сетей и снижение объемов утечек.

Основными мерами по снижению водопотребления в коммунальном хозяйстве являются: совершенствование форм и методов управления, финансирования и ценообразования в сфере ЖКХ; своевременный и качественный ремонт и замена изношенных элементов водопроводных сетей в системах наружного и внутреннего водоснабжения; улучшение гидравлического режима работы водопроводной сети; модернизация насосных станций с применением энергосберегающего насосного оборудования и совершенствование режима ее работы; применение новой, водосберегающей арматуры, установка квартирных водосчетчиков и регуляторов напоров в системах внутреннего водоснабжения зданий и др. [2–7].

Внедрение указанных мер, как показывает опыт эксплуатации систем водоснабжения крупных городов (Санкт-Петербург, Москва и ряд др.) позволило коренным образом изменить ситуацию в этой сфере. В качестве примера, на рис. 1 приведены статистические данные по потреблению водопроводной воды СПб за период 1992–2017 гг., которые свидетельствуют о четкой тенденции существенного снижения общего водопотребления и, соответственно, сокращения подачи воды в город [8].

Начальный период (1992–1999 гг.) характеризовался резким снижением водопотребления в городе, которое сократилось на 25,7%, в основном, за счет ликвидации мест крупных утечек и потерь воды, аварийных участков наружных сетей, ремонта и реконструкции внутренних сетей зданий, установки счетчиков воды, повышения тарифов и др. В дальнейшем, водопотребления города также постепенно снижалось за счет применения всех вышеперечисленных мер по водосбережению. Общая тенденция снижения водопотребления города за весь указанный период, судя по линии тр (при  $R^2 = 0,974$ ) (рис. 1), носит «затухающий» характер.

Существенное снижение водопотребления привело к изменениям гидравлического режима работы городской водопроводной сети. Резко снизились скорости движения воды в трубопроводах, особенно в удаленных от водопроводных станций районах городской застройки. На отдельных участках водопроводной сети скорости опускались ниже 0,1 м/с. При столь малых скоростях потока водопроводной воды увеличивается продолжительность

ее пребывания в трубопроводах, вода застаивается и качество ее может ухудшаться.

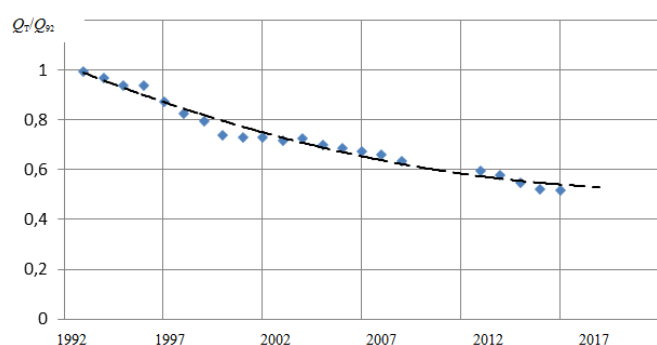


Рис. 1. Изменение объемов водопотребления Санкт-Петербурга (в долях от водопотребления города в 1992 г); --- линия тренда

Для борьбы с этим явлением в ГУП «Водоканал СПб» осуществляются следующие мероприятия [7]:

- Усиливаются и расширяются уровни контроля качества воды во всех элементах системы водоснабжения города. Осуществляется оперативный технологический контроль с использованием автоматических анализаторов-онлайн и систем автоматического непрерывного мониторинга. Все уровни контроля качества воды интегрированы между собой, это гарантирует достоверность сведений о качестве воды на всех этапах. Производственный контроль качества водопроводной воды ведется в 377 точках распределительной сети, расположенных, главным образом, по ее периферии.

- На удаленных участках сети на повысительных водопроводных насосных станциях и на домовых водопроводных вводах для повышения качества питьевой воды устанавливаются системы доочистки, с применением фильтрующих загрузок, обеспечивающие удаление железа.

- Для решения задач эксплуатации и планирования развития системы водоснабжения городов применяется моделирование гидравлических режимов работы водопроводной сети, что позволяет определять гидравлические параметры работы водопроводной сети (напоры, расходы и скорости воды) и прогнозировать их изменение при выполнении плановых и аварийных работ на сети, строительстве и реконструкции ее участков, изменении объемов потребления воды.

## 2. Особенности водоснабжения курортных городов.

Потребные объемы водопотребления курортов городов существенно меняется в зависимости от сезона года, притока отдыхающих (количества

постоянных и временно пребывающих жителей), климатических условий (температуры воздуха, количества осадков, силы ветра и др.). Определение расчетных объемов потребления водопроводной воды в курортных городах с учетом указанных факторов водопотребления имеет существенное значение, как для разработки проектных решений, так и для эксплуатации водопроводных систем.

На основании результатов исследований объемов водопотребления курортных местностей Северного региона Польши было предложена общая зависимость, учитывающая общее числа пользователей водопроводной системой (постоянное и сезонное население), а также атмосферные условия, в следующем виде [8]:

$$Q = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7, \quad (1)$$

где  $Q$  – объем водопотребления, м<sup>3</sup>/сут.;  $x_1, x_2$  – численность, соответственно, постоянного и сезонного населения, чел.;  $x_3$  – среднесуточная температура воздуха, °С;  $x_4$  – количество осадков, мм;  $x_5$  – сила ветра, м/с;  $x_6$  – солнечная освещенность (инсоляция);  $x_7$  – облачность, %;  $b_j$  – коэффициенты регрессии.

Математической обработкой результатов исследований были получены величины коэффициентов регрессии уравнения (1) для курортно-санаторных мест, расположенных на территории Северной Польши (табл. 1).

Таблица 1

Величины коэффициентов регрессии уравнения (1) для курортно-санаторных мест, расположенных на территории Северной Польши

Коэффициент регрессии	Тип местности			
	Морские местности			Санаторно-курортные местности
	Лечебно-курортные	Курортно-санаторные	Курортные	
$B_0$	7197,97	3453,84	1630,60	1861,25
$B_1$	0,25	0,31	0,162	0,214
$B_2$	0,01	0,13	0,023	0,828
$B_3$	64,67	13,70	19,887	-15,317
$B_4$	-2,78	33,94	-5,626	-16,464
$B_5$	120,01	55,97	4,254	-10,205
$B_6$	-65,03	25,65	13,828	0,0
$B_7$	-24,64	-9,15	0,0	-19,313

Проблемы, возникающие при водоснабжении курортных городов, рассмотрены ниже на примере населенных мест Польши, расположенных в Среднем Поморье, в частности городов Мостово-Кошалин- Мельно, Лазы.

На рис. 2 показана схема водопроводной магистрали, обеспечивающей водоснабжение указанных городов. Эти населенные пункты снабжаются водой из двух водозаборов, один из которых находится в местности Мостово, а второй – на территории г. Кошалин. Согласно плану территориального развития этого района предполагалось расширение городской застройки и создание крупных промышленных предприятий пищевой промышленности в г. Кошалин, а также интенсивное инвестиционное освоение территории по берегу озера Ямно, где планировалось возведение центров водного спорта и отдыха, туристической базы и многочисленных торгово-гастрономических объектов. Исходя из прогнозируемых объемов водопотребления были запроектирован и построен магистральный трубопровод диаметром 800 мм и протяженностью 18 км из водозаборов в Мостове в г. Кошалин, а затем второй водовод диаметром 1000 мм. Максимальная пропускная способность этих трубопроводов к концу 70-х годов планировалась на уровне 65 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, а в дальнейшем до 96 тыс. м<sup>3</sup>/сутки (при фактическом водопотреблении в то время 40 тыс. м<sup>3</sup>/сутки) [9].

Политико-экономические изменения, которые произошли в Польше, в конце 20-го века отразились на тенденциях развития рассматриваемых городов. Планы реализации многих объектов стали не актуальны, изменились также демографические прогнозы и планы развития промышленного производства. В результате этих изменений резко снизились объемы водопотребления в г. Кошалине и других городах региона. Особенно это было заметно в период 1989–1996 гг., в течении которых объем водопотребления г. Кошалин снизилось до 29,5 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Особенностью водоснабжения курортных городов является высокая неравномерность потребления воды в течении года. На рис. 3 показано как резко меняется водопотребление курорта Мельно по месяцам года. Подобный режим водопотребления имеет место и в других курортных городах Среднего Поморья, в частности, в поселке Лазы [9].

Основной пик водопотребления в этих поселениях приходится на два летних месяца (июль и август), когда, из-за притока отдыхающих, расходуеться 63,6 % годового потребления воды (33 % и 30,6 %). Соответственно, в другие месяцы года водопотребление курортов существенно снижается, а в зимние месяцы падает до 2,0 % годового потребления воды. Такой режим водопотребления приводит к существенному снижению скоростей движения воды в трубопроводах водопроводной сети, которые в зимний период падают до уровня 0,01 м/с. При этом, время нахождения водопроводной воды в трубопроводе на участке от г. Кошалин до поселков Мельно и Лазы длиной 2,0 км увеличивается до 3–7 дней. Вода в трубопроводах в зимний период застаивается, и качество ее ухудшается, что является существенной проблемой водоснабжения курортных городов и дачных поселков [9–11]. Для предотвращения негативных факторов этого явления могут быть использованы те же

меры, что в подобной ситуации приняты в СПб (моделирование гидравлических режимов работы водопроводной сети, усиленный мониторинг качества воды в системе, особенно, в зимнее время, устройство на удаленных участках сети систем доочистки воды). Также может быть рекомендовано отключение параллельных ниток водоводов при существенном снижении водопотребления.

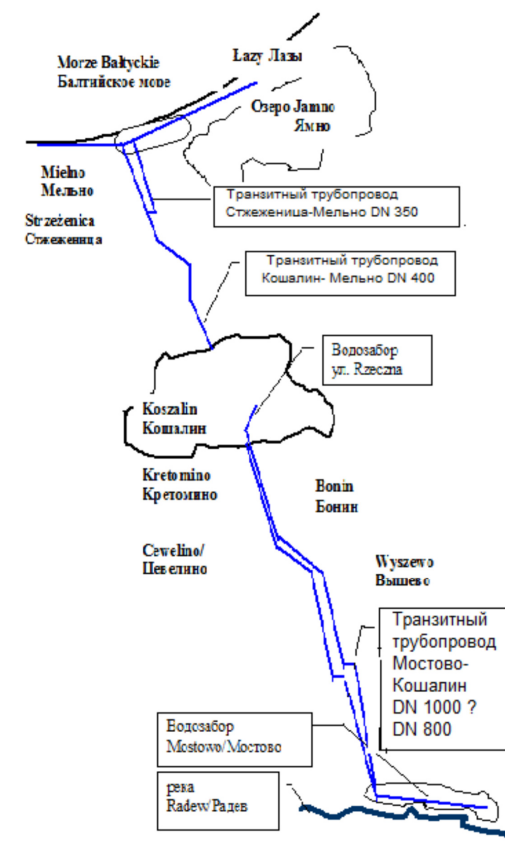


Рис. 2. Схема водоснабжения курортных городов Среднего Поморья

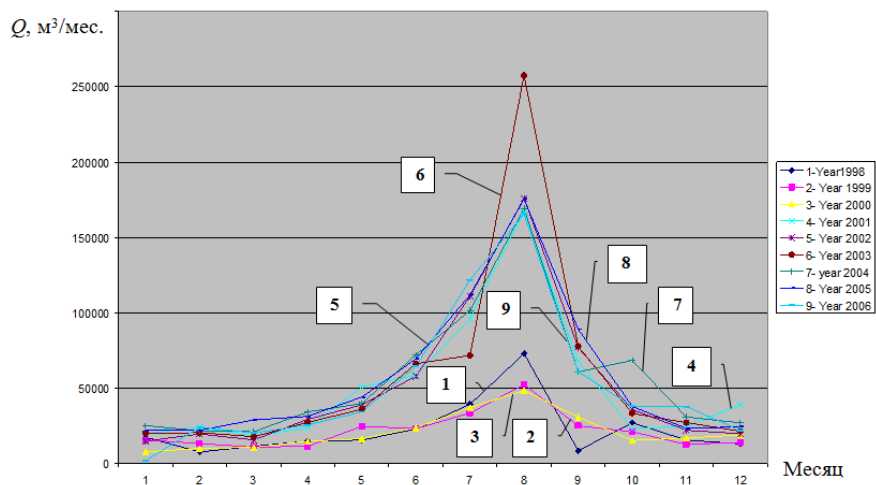


Рис. 3. Изменения водопотребления в местности Мельно по месяцам 1998–2006 гг.

## Выводы

1. Резкое снижение объемов водопотребления в коммунальном хозяйстве Российской Федерации отмечалось, начиная с 90-х годов (с началом реформы ЖКХ). Так, объем водопотребления г. Санкт-Петербурга за последние 25 лет снизился в два раза, в результате совершенствования форм и методов управления, финансирования и ценообразования в сфере ЖКХ, а также внедрения комплекса организационно-технических мероприятий.

2. Существенное снижение водопотребления в городе привело к изменениям гидравлического режима работы системы подачи и распределения водопроводной воды. Резко снизились скорости движения воды в трубопроводах, особенно в удаленных от водопроводных станций районах городской застройки.

3. Для разработки проектных решений, так и для эксплуатации водопроводных систем курортных городов важное значение имеет определение расчетных объемов потребления водопроводной воды, которые существенно меняются в зависимости от притока отдыхающих, сезона года, и климатических условий. На основании результатов исследований объемов водопотребления курортных местностей Северного региона Польши предложена общая зависимость, учитывающая общее числа пользователей водопроводной системой (постоянное и сезонное население), а также влияние различных атмосферных факторов.

4. Особенностью водоснабжения курортных городов является высокая неравномерность потребления воды в течении года. Основной пик водопотребления в этих поселениях приходится на два летних месяца (июль и август), когда, из-за притока отдыхающих, расходуется 63,6 % годового потребления воды. Соответственно, в другие месяцы года водопотребление курортов существенно снижается, а в зимние месяцы падает до 2,0 % годового потребления воды. Существенной проблемой водоснабжения курортных городов и дачных поселков является такой режим водопотребления, который приводит к снижению скоростей движения воды в трубопроводах, вода в них застаивается, и качество ее ухудшается.

5. Для предотвращения ухудшения качества воды при ее длительном пребывании в трубопроводах (при пониженном водоразборе) может быть применен усиленный мониторинг качества воды в системе, устройство систем доочистки воды на удаленных участках сети, моделирование гидравлических режимов ее работы. В отдельных случаях, возможен отключение параллельных ниток водоводов при существенном снижении водопотребления.

## Литература

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная распоряжением правительства РФ от 27 августа 2009 года N 1235-р
2. Кармазинов Ф. В., Феофанов Ю. А., Махнев П. П., Юдин М. Ю. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. М: Минпромэнерго, 2005. 56 с.
3. Феофанов Ю. А., Жуховицкий А. В. Современные материалы и виды труб для ремонта и строительства инженерных сетей: учебное пособие. СПбГАСУ, 2006. 152 с.
4. Феофанов Ю. А. Потребление и потери водопроводной воды в жилом фонде Санкт-Петербурга // Инженерные системы. №3. 2005
5. Кармазинов Ф. В. и др. Водоснабжение и водоотведение в Санкт-Петербурге. СПб.: Новый журнал, 2008. 464 с
6. Феофанов Ю. А., Адельшин А. Б., Нуруллин Ж. С. Пути экономии энергоресурсов в системах водоснабжения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 153–159.
7. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов. М.: Прима-Прес, 2002. 283 с.
8. Годовой отчет. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [Электронный ресурс] URL: [http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/godovoj\\_otchet/](http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/godovoj_otchet/) (Дата обращения: 09.09.2018).
9. Жуховицкий А. В. Водоснабжение населённых мест Центрального Поморья // Вузовское издательство Кошалинского политехнического института. Кошалин, 2012.
10. Жуховицкий А. В., Усидус Д., Голубович Д. Проблемы эксплуатации водопроводной магистрали Мостово–Кошалин // Современные проблемы водосточного хозяйства. Кошалин–Колобжег, 1997. с. 519–526.
11. Жуховицкий А. В. Комплексные системы автоматизации, отслеживания и управления технологическими процессами в хозяйственных единицах // Кошалинский политехнический институт. Кошалин, 2009.



## УДК 628.3

Елена Игоревна Яковлева,  
студент  
Дарья Вадимовна Тихонова,  
студент  
(Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: yakushh1995@mail.ru,  
tikhonova4@mail.ru

Elena Igorevna Yakovleva,  
student  
Daria Vadimovna Tikhonova,  
student  
(Novosibirsk State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: yakushh1995@mail.ru,  
tikhonova4@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА ИЗ СТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

### DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL Schemes OF PHOSPHORUS REMOVAL FROM WASTEWATER

В данной статье дана оценка существующим методам удаления фосфора. Установлено, что наиболее эффективным, перспективным и легко реализуемым способом является физико-химический. Проанализированы данные лабораторно-производственного контроля двух площадок очистных сооружений канализации. Выявлено, что основными объектами обогащения жидкости фосфором являются: преаэраторы, первичные отстойники, аэротенки, уплотнители избыточного активного ила, уплотнители ила и сырого осадка, метантенки, центрифуги, фильтр-прессы и иловые площадки. В работе описаны результаты трёх этапов исследований, посвященных изучению влияния центрифугирования на процесс выделения фосфора, подбору оптимальной дозы экологически чистых реагентов удаления фосфора, подбору соотношения сточной жидкости и морской воды для снижения фосфора до ПДК. Результаты исследований показали, что максимальное выделение фосфора из клетки микроорганизмов наблюдается при высокой скорости вращения ротора. Так, при количестве оборотов 4000 об/мин концентрация фосфора в фугате, по сравнению с исходным осадком, увеличивается более чем в 10 раз. При изучении влияния реагентов на степень удаления фосфора из сточной жидкости использовались два вида реагентов: хлорид кальция и хлорид магния; при использовании хлорида кальция и хлорида магния концентрация фосфора достигает ПДК, при значении pH 10–10,5. Для контроля сточной жидкости использовались современные приборы и оборудование. При исследовании влияния морской воды на удаление фосфора установлено, что концентрация фосфора (0,2 мг/л) достигается при pH = 10 и при введении 25 % морской воды от объёма очищаемой сточной жидкости. На основании полученных результатов исследования разработаны и предложены две технологические схемы удаления фосфора из стоков внутриплощадочной канализации и с использованием морской воды из биологически очищенных стоков.

*Ключевые слова:* эвтрофирование водоёмов, удаление фосфора, сточная жидкость, реагенты, морская вода, центрифугирование, технологическая схема.

This article assesses the existing methods of phosphorus removal. It is established that the most effective, promising and easily implemented method is physico-chemical. The data of laboratory and production control of two sites of sewage treatment facilities are analyzed. Revealed that the main objects of the enrichment of the liquid phosphorus are preaerator, primary sedimentation tanks, aeration tanks, seals, excess activated sludge, sealant sludge and raw

sludge, digesters, centrifuges, filter presses, and sludge drying beds. The paper describes the results of three stages of research devoted to the study of the effect of centrifugation on the phosphorus release process, the selection of the optimal dose of environmentally friendly reagents removal phosphorus, the selection of the ratio of wastewater and sea water to reduce phosphorus to MPC. The results of studies have shown that the maximum release of phosphorus from the cells of microorganisms is observed at a high speed of rotation of the rotor. Thus, with the number of revolutions of 4000 rpm, the concentration of phosphorus in the centrate, compared with the initial precipitate, increases by more than 10 times. When studying the effect of reagents on the degree of phosphorus removal from the wastewater, two types of reagents were used: calcium chloride and magnesium chloride; when using calcium chloride and magnesium chloride, the phosphorus concentration reaches the MPC, at a pH value of 10–10.5. Modern devices and equipment were used to control the wastewater. In the study of the effect of seawater on phosphorus removal, it was found that the concentration of phosphorus (0.2 mg/l) is achieved at pH = 10 and with the introduction of 25 % of seawater from the volume of treated wastewater. Based on the results of the study, two technological schemes of phosphorus removal from intrasite sewage system and using seawater from biologically treated effluents have been developed and proposed.

*Keywords:* eutrophication of reservoirs, phosphorus removal, wastewater, reagents, sea water, centrifugation, technological scheme.

В настоящее время одной из главных проблем в области очистки сточных вод является удаление биогенных элементов (соединений азота, фосфора, серы), вызывающих эвтрофикацию водных объектов. Последние годы значительно увеличилась концентрация растворенных фосфатов в бытовых стоках. Растворимый фосфор является основным лимитирующим элементом, в большей степени воздействующим на процесс эвтрофирования. Антропогенное эвтрофирование, может принимать катастрофический характер, так как биогенная нагрузка на водные объекты увеличивается в десятки и сотни раз, что приводит к ряду негативных последствий: ухудшению физико-химических и органолептических показателей воды водоемов, образованию донных отложений, изменению кислородного баланса, мутации флоры и фауны, обогащению воды водоема канцерогенными веществами. Длительное употребление такой воды в качестве питьевой может вызвать у человека нарушение центральной нервной системы и цирроз печени.

Целью исследования являлось разработка технологических схем удаления фосфора из сточной жидкости. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: выполнить литературный обзор по методам удаления фосфора, выявить места наибольшего выделения фосфора из жидкости на очистных сооружениях канализации (ОСК), изучить влияние центрифугирования на процесс обогащения фугата фосфором, подобрать оптимальную концентрацию исследуемых реагентов для достижения максимального эффекта удаления фосфора, изучить влияние морской воды на степень удаления фосфора.

На сегодняшний день из известных методов удаления фосфора можно выделить три принципиально отличных: биологический, физико-химический и комбинированный. Биологический способ является самым экологически

чистым способом, однако позволяет удалить фосфор лишь на 50 % [1]. Физико-химический метод наиболее эффективный и легко реализуемый. Данный способ требует ввода реагентов, расходуемых на связывание свободного ион-фосфата в труднорастворимую соль ортофосфорной кислоты. Реагент можно вводить на разных этапах очистки сточной жидкости. К сожалению, при использовании солей железа и алюминия образуется химический осадок, который необходимо утилизировать на специализированных полигонах. Комбинированный метод сочетает в себе биологический и физико-химический метод. Суть метода заключается в выделении фосфора в виде ион-фосфата из клеток микроорганизмов активного ила в анаэробных условиях и их связывании в труднорастворимую соль  $Ca_5OH(PO_4)_3$  на стадии физико-химической очистки. Образующийся в отстойниках органоминеральный осадок по своим свойствам относится к низкосортному удобрению. Из трёх перечисленных методов комбинированный, несмотря на высокую эффективность удаления фосфора, является самым дорогим, как в строительстве, так и в эксплуатации.

При выявлении мест наибольшего выделения фосфора из сточной жидкости был проведен глубокий анализ данных лабораторно-производственного контроля двух площадок городских ОСК (Новосибирска и Искитима). Исследования показали [2, 3], что на ОСК Новосибирска существует несколько мест интенсивного обогащения иловой воды ион-фосфатами: уплотнители избыточного активного ила, метантенки, уплотнители сырого осадка и избыточного ила, фильтр-прессы, центрифуги и иловые площадки. Основной причиной обогащения фосфором иловой воды уплотнителей является длительное нахождение избыточного ила в анаэробных условиях [4]. Особенно высока степень обогащения иловой воды фосфором в тёплый период из-за быстрого перехода биологической системы в анаэробные условия. По данным исследований концентрация фосфора в иловой воде после уплотнителей возрастает с 4–6 мг/л до 20–25 мг/л (по *P*). В метантенках иловая вода сброженного осадка обогащается фосфатами за счёт распада органических веществ. В иловой воде сброженного осадка концентрацию фосфора составляет 30–40 мг/л (по *P*). Центрифугирование и фильтр-прессование является местом обогащения фугата и фильтрата фосфором. Так, фактически концентрация фосфора в фильтрате составляет 35–60 мг/л, а в фугате 45–70 мг/л. Таким образом, с учётом сброса в голову сооружений иловых и дренажных вод, фугата и фильтрата концентрация фосфора в исходной сточной жидкости увеличивается на 1–3 мг/л и составляет 4–8 мг/л (по *P*). На ОСК города Искитима (рис. 1) местами наибольшего обогащения фосфора сточной жидкостью являются: преаэраторы, куда подается избыточный активный ил, первичные отстойники, аэротенки с большим процентом регенерации активного ила, цех механического обезвоживания осадка и иловые площадки.

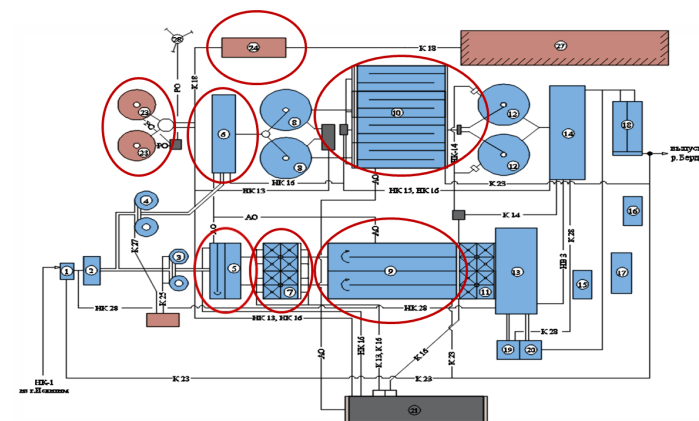


Рис. 1. Технологическая схема очистных сооружений канализации города Искитима: 1 – камера гашения напора; 2 – здание комминаторов; 3 – песколовки горизонтальные с круговым движением воды (I очередь); 4 – песколовки горизонтальные с круговым движением воды (II очередь); 5 – преаэратор (I очередь); 6 – преаэратор (II очередь); 7 – первичный вертикальный отстойник (I очередь); 8 – первичный радиальный отстойник (II очередь); 9 – аэротенки двухкоридорные с регенераторами (50 %) (I очередь); 10 – аэротенки трёхкоридорные с регенераторами (33 %) (II очередь); 11 – вторичные вертикальные отстойники (I очередь); 12 – вторичные радиальные отстойники (II очередь); 13 – фильтры щебеночные (I очередь); 14 – фильтры песчаные (II очередь); 15 – хлораторная (I очередь); 16 – хлораторная (II очередь); 17 – контактный резервуар (I очередь); 18 – контактный резервуар (II очередь); 19 – резервуар грязной воды; 20 – резервуар чистой воды; 21 – воздушная станция; 22 – метантенки; 23 – цех механического обезвоживания осадка; 24 – иловые площадки на естественном основании без дренажа

В табл. 1 сведены сравнительные данные по фосфору, азоту аммонийному, ХПК, ионам кальция и магния, а также *pH* исследованных объектов ОСК Новосибирска.

Как видно из таблицы, наименьшее содержание фосфора было обнаружено в фильтрате иловой смеси, отобранной из конца аэротенка (0,1–1,1 мг/л), а максимальная в фугате центрифуг (18,1–60,5 мг/л). Для фугата характерны высокие показатели и по азоту аммонийному (36–86 мг/л) и ХПК (373–856 мг/л), ионам магния (22,1–40,9 мг/л), в исследуемой пробе была довольно высокая концентрация ионов кальция (55,6–111 мг/л). Так как концентрация фосфора в фугате оказалась самой высокой, решено было проверить, какие факторы в большей степени влияют на степень выделения фосфора из частиц осадка: скорость вращения ротора или продолжительность центрифугирования.

Исследования проводились с использованием двух лабораторных центрифуг со скоростью вращения ротора 2000, 3000 и 4000 оборотов/мин; центрифугированию подвергались уплотненный активный ил и сырой осадок ОСК Новосибирска. Исходная концентрация фосфора активного ила была

1,5 мг/л, а для сырого осадка 1,23 мг/л, пробу сырого осадка пришлось разбавлять для получения примерно одинаковой исходной концентрации фосфора. Скорости вращения центрифуги была принята равной 2000, 3000 и 4000 об/мин, определения фосфора проводилось после 5, 6, 7, 8, 9, 10 минут с начала эксперимента. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2–5 и на рис. 2 и 3.

Таблица 1

Показатели сточной жидкости внутриплощадочной канализации

Наименование сооружений	Показатели качества сточной жидкости						
	Фосфор, мг/л	Азот аммонийный, мг/л	ХПК, мг/л	Железо, мг/л	Кальций, мг/л	Магний, мг/л	рН
Песколовки	2,6 – 4,5	26,2 – 43,0	200 – 465	0,5 – 1,2	62,7 – 80,0	16,0 – 18,5	6,7 – 7,2
Первичный отстойник	2,7 – 10,7	27,1 – 43,5	177,0 – 250,0	0,2 – 0,9	67,1 – 75,1	16,2 – 18,2	6,9 – 7,1
Аэротенк	0,1 – 1,1	0,8 – 6,7	28,7 – 49,7	–	64,0 – 73,2	14,7 – 15,2	6,9 – 7,2
Вторичный отстойник	0,1 – 3,5	2,9 – 9,3	11,5 – 44,6	0,1 – 0,2	32,6 – 62,0	8,9 – 14,7	7,0 – 7,2
Смесь иловой воды после уплотнителей СО и ИАИ	35,6 – 42,1	29,1 – 35,0	579,0 – 650,0	–	69,2 – 72,1	15,1 – 16,7	6,2 – 6,5
Иловая вода ИАИ	11,0 – 20,0	18,4 – 21,8	21,8 – 115,0	–	45,7 – 68,7	16,7 – 20,5	6,5 – 6,8
Фильтр после фильтр-прессов	7,7 – 33,2	17,5 – 55,4	370,0 – 578,0	–	72,5 – 108,0	19,8 – 22,2	6,5 – 6,5
Фугат после центрифуг	18,1 – 60,5	36,0 – 86,0	373,0 – 856,0	–	55,6 – 111,0	22,1 – 40,9	6,3 – 6,7
СО	10,0 – 57,3	34,0 – 63,0	121,0 – 2720,0	–	79,1 – 144,0	24,1 – 32,6	5,9 – 6,2
Иловая вода с ИП	18,4 – 34,1	56,0 – 85,0	139,0 – 200,0	–	–	–	7,0 – 7,1

Таблица 2

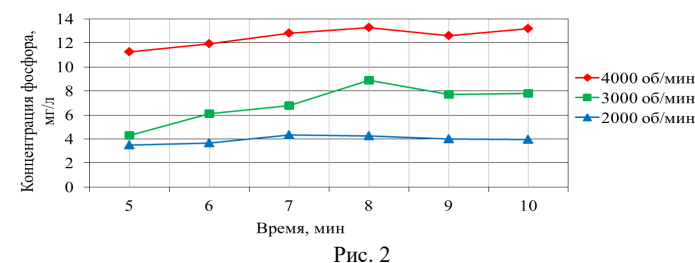
Влияние скорости вращения и продолжительности центрифугирования на выделение фосфора в активном иле

Об/мин	Исходная концентрация фосфора, мг/л	Время, мин					
		5	6	7	8	9	10
2000	1,50	3,5	3,66	4,32	4,24	4	3,95
3000		4,3	6,1	6,8	8,9	7,7	7,8
4000		11,24	11,92	12,8	13,26	12,6	13,18

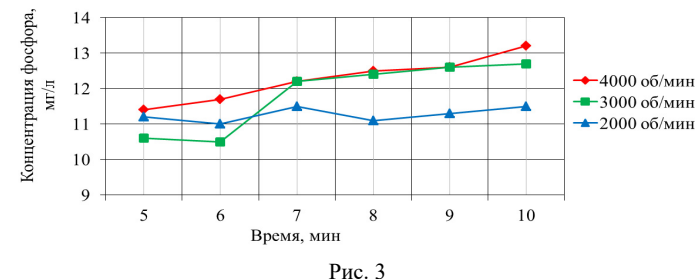
Влияние скорости вращения и продолжительности центрифугирования на выделение фосфора в сыром осадке

Таблица 3

Об/мин	Исходная концентрация фосфора, мг/л	Время, мин					
		5	6	7	8	9	10
2000	1,23	11,2	11	11,5	11,1	11,3	11,5
3000		10,6	10,5	12,2	12,4	12,6	12,7
4000		11,4	11,7	12,2	12,5	12,6	13,2



Как видно из приведенных данных, продолжительность центрифугирования влияет незначительно на выделение фосфора из активного ила, в то время как увеличение скорости вращения ротора до 4000 об/мин повышает концентрацию фосфора почти в 9 раз по сравнению с исходной концентрацией.



По результатам исследования сырого осадка было выявлено, что при скорости вращения 4000 об/мин при прочих равных условиях наблюдается наибольшее выделение фосфора из бактериальной клетки, по сравнению с исходной концентрацией увеличение составило примерно в 11 раз.

На втором этапе исследований были определены оптимальные дозы экологически чистых реагентов: хлорида кальция и хлорида магния. В опы-

тах были приняты следующие соотношения: 1:1,3, 1:2, 1:4 – для хлорида кальция и 1:1,3, 1:3 и 1:6 – для хлорида магния, т. е. на 1 часть фосфора вводилось 1,3, 2, 3 или 6 частей ионов магния. Использовалась натуральная сточная жидкость ОСК Новосибирска с исходной концентрацией фосфора 2,6 мг/л. Результаты исследований представлены в табл. 4 и 5, а также на рис. 4 и 5.

Таблица 4

Эффект удаления фосфора при соотношении вводимого  $Ca^{2+}$

Исследуемый диапазон pH	Исходная концентрация фосфора, мг/л	1:1,3		1:2		1:4	
		$C_p$ , мг/л	Э, %	$C_p$ , мг/л	Э, %	$C_p$ , мг/л	Э, %
8,5	2,60	1,04	20,0	1,02	21,5	0,98	24,6
9,0		1,03	20,8	1,02	21,5	0,96	26,2
9,5		0,93	28,5	0,58	55,4	0,57	56,2
10,0		0,45	65,4	0,37	71,5	0,22	83,1
10,5		0,30	76,9	0,34	73,8	0,22	83,1

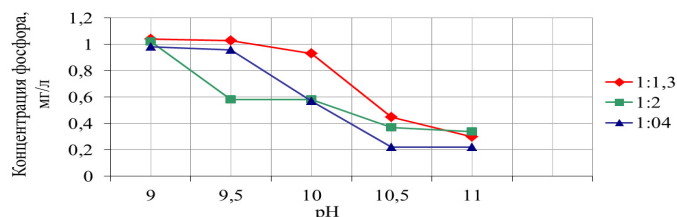


Рис. 4

Таблица 5

Эффект удаления фосфора при соотношении вводимого  $Mg^{2+}$

Исследуемый диапазон pH	Исходная концентрация фосфора, мг/л	1:1,3		1:3		1:6	
		$C_p$ , мг/л	Э, %	$C_p$ , мг/л	Э, %	$C_p$ , мг/л	Э, %
8,5	8,40	3,81	54,7	3,47	58,7	3,27	61,0
9,0		1,23	85,4	1,23	85,4	1,20	85,7
9,5		0,78	90,7	0,69	91,8	0,64	92,4
10,0		0,50	94,0	0,48	94,3	0,48	94,3
10,5		0,34	95,6	0,21	97,5	0,19	97,7

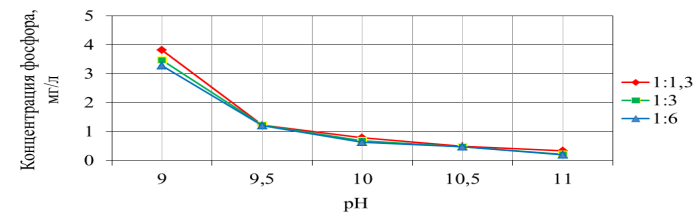


Рис. 5

Результаты исследований показали, что наибольший эффект удаления из сточной жидкости фосфора, соответствующего ПДК (0,2 мг/л), достигается при введении хлорида кальция в соотношении 1:4, а для хлорида магния в соотношении 1:2.

Как уже отмечалось ранее, при изучении мест интенсивного обогащения жидкости фосфором было обнаружено, что в отобранных пробах иловой воды, фильтрата и фугата концентрации ионов кальция и магния достаточно высокие. В связи с этим было решено провести опыты по их использованию для связывания ион-фосфатов в трудно растворимую соль, создавая щелочные условия [5], вводя гидроксид натрия. Результаты данного эксперимента представлены в табл. 6 и на рис. 6.

Таблица 6

Влияние NaOH на степень удаления фосфора из сточной жидкости

Исследуемый диапазон pH	Исходная концентрация фосфора, мг/л	Концентрация фосфора в определяемых пробах, мг/л	Эффект очистки по фосфору, %
9,0	2,60	2,50	3,8
9,5		0,79	69,6
10,0		0,262	89,9
10,5		0,226	91,3
11,0		0,061	97,6

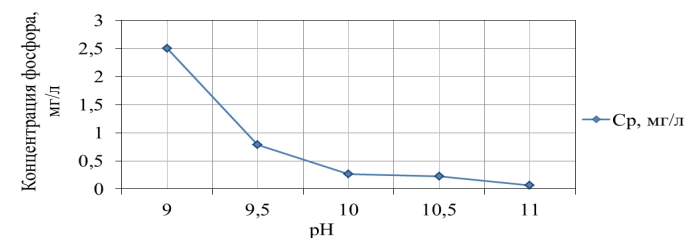


Рис. 6

Как видно из приведенных данных, при pH = 10,5 можно достичь требуемую степень очистки сточной жидкости по фосфору.

По результатам исследования была предложена технологическая схема физико-химического удаления фосфора и стоках внутриплощадочной канализации (рис. 7 и 8). Поскольку на всех без исключения ОСК Российской Федерации все внутриплощадочные стоки (иловые и дренажные воды, фугат, фильтат, бытовые стоки) собираются в резервуаре хозяйственно-фекальных стоков и оттуда откачиваются насосом в голову сооружений, увеличивая при этом концентрацию фосфора в стоках, поступающих на очистку, то предлагается включить в состав ОСК узел по очистке этих стоков.

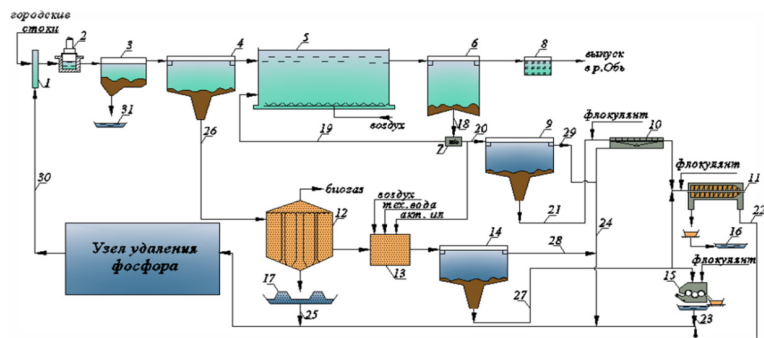


Рис. 7. Предлагаемая технологическая схема удаления фосфора из сточной жидкости: 1 – камера гашения напора; 2 – решётка; 3 – горизонтальная песколовка; 4 – радиальный первичный отстойник; 5 – аэротенк; 6 – вторичный радиальный отстойник; 7 – насосная станция вторичных отстойников; 8 – УФО; 9 – радиальный илоуплотнитель избыточного активного ила; 10 – ленточный сгуститель активного ила; 11 – декантер; 12 – метантенк; 13 – промывной резервуар анаэробно сброженного осадка; 14 – уплотнитель анаэробно сброженного осадка; 15 – фильтр-пресс; 16 – площадка для хранения обезвоженного осадка; 17 – аварийные иловые площадки; 18 – активный ил; 19 – циркулирующий активный ил; 20 – избыточный активный ил; 21 – уплотненный активный ил; 22 – иловая вода от декантера; 23 – иловая вода от фильтр-пресса; 24 – иловая вода от сгустителя; 25 – дренажная вода с иловых площадок; 26 – сырой осадок; 27 – уплотненный анаэробно сброженный осадок; 28 – иловая вода от анаэробно сброженного осадка; 29 – иловая вода после илоуплотнителей избыточного активного ила; 30 – смесь иловой воды; 31 – песковые площадки

В состав узла входят: существующий резервуар хозяйственно- фекальных стоков, дополнительно предусматривается барабанные сита для улавливания крупных отбросов, поступающих с бытовыми стоками внутриплощадочной канализации, резервуар-усреднитель, обеспечивающий стабильную работу физико-химической очистки стоков, камеру реакции для ввода реагента, отстойники физико-химической очистки и фильтр-пресс для кристаллического осадка. Для осаждения фосфатов рекомендуется использование гидроксида натрия или комплексного реагента (извести и гидроксида натрия).

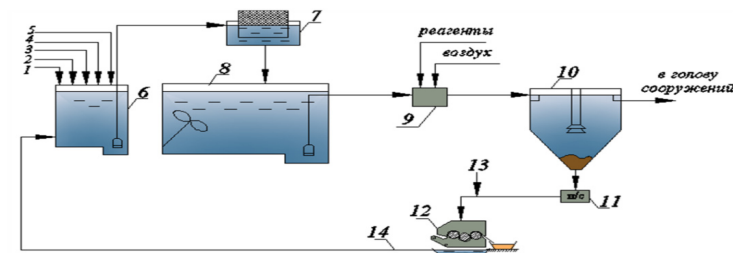


Рис. 8. Узел физико-химической очистки стоков внутриплощадочной канализации: 1 – иловая вода от декантера; 2 – иловая вода от фильтр-пресса; 3 – иловая вода от сгустителя; 4 – дренажная вода с иловых площадок; 5 – иловая вода от анаэробно сброженного осадка; 6 – существующий резервуар хозяйственно-бытовых стоков; 7 – барабанные сита; 8 – резервуар усреднитель; 9 – камера реакции; 10 – отстойник физико-химической очистки; 11 – насосная станция; 12 – фильтр-пресс; 13 – флокулянт; 14 – фильтрат в резервуар хозяйственно-бытовых стоков

Третий этап исследований был посвящён изучению влияния на эффект удаления фосфора из биологически очищенной сточной жидкости морской водой, которая отличается высоким содержанием ионов магния и кальция. В задачи исследования входило определить количество вводимой морской воды, обеспечивающей при высоких значениях pH снижения концентрации фосфора до ПДК. В опытах в натуральную биологически очищенную сточную жидкость вводили морскую воду в количестве 100, 50, 25 и 10 %. В полученной смеси pH поднималось до 10,5 гидроксидом натрия, затем она перемешивалась в течение 20 минут на перемешивающем устройстве, далее проба фильтровалась и в фильтрате определяли концентрацию фосфора. Результаты опытов представлены в табл. 7 и на рис. 9.

Таблица 7

Эффект удаления фосфора при соотношении вводимой морской воды

Исследуемый диапазон pH	1:1		1:0,5		1:0,25		1:0,1	
	C <sub>p</sub> , мг/л	Э, %	C <sub>p</sub> , мг/л	Э, %	C <sub>p</sub> , мг/л	Э, %	C <sub>p</sub> , мг/л	Э, %
8,5	0,7	30	0,93	31,1	1,2	25	0,9	19
9,0	0,7	30	0,8	40,7	1,16	27,5	0,897	19,4
9,5	0,61	39	0,7	48,1	0,64	60	0,882	20,5
10,0	0,35	65	0,15	88,9	0,19	88,1	0,657	40,8
10,5	0,013	87	0,013	99	0,07	95,6	0,649	41,5

Исследования показали, что при введении в биологически очищенную сточную жидкость 25 % (по объёму) морской воды и повышении pH смеси до 10 достигается требуемая степень снижения фосфора (0,19 мг/л). На основании полученных данных была предложена технологическая схема удаления

фосфора с использованием морской воды и с последующим выпуском очищенной сточной жидкости в море или океан (рис. 10).

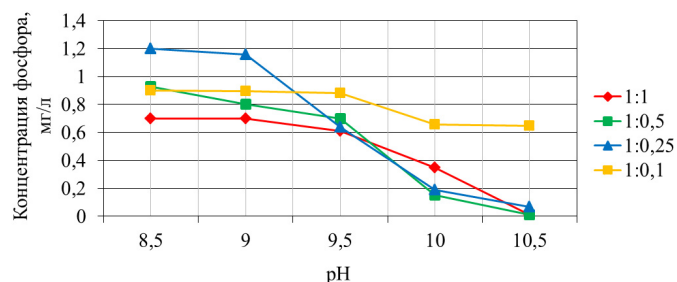


Рис. 9

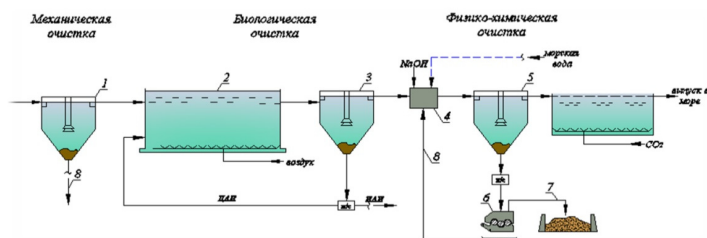


Рис. 10. Предлагаемая технологическая схема удаления фосфора из сточной жидкости:  
 1 – первичный отстойник; 2 – аэротенк; 3 – вторичный отстойник; 4 – камера реакции;  
 5 – отстойник физико-химической очистки; 6 – фильтр-пресс; 7 – площадка кристаллического осадка; 9 – иловая вода с фильтр-прессов

Рекомендуемая схема включает в себя классическую технологию очистки сточных вод и узел удаления фосфора, в который входит: камера реакции, куда подается сточная жидкость, морская вода и гидроксид натрия, отстойник физико-химической очистки, где осаждаются кристаллы, фильтр-пресс для обезвоживания органоминерального осадка и карбонизатор для нейтрализации стоков. Фильтрат экономически и технологически целесообразно направлять в камеру реакции для сокращения расхода реагента (NaOH) и ускорения процесса кристаллизации.

## Выводы

1. Среди существующих методов удаления фосфора (биологический, физико-химический, комбинированный) наиболее перспективным является физико-химический, позволяющий добиться снижения фосфора до ПДК.

2. Центрифугирование дает наибольший эффект выделения фосфора из клетки в окружающую среду. Из двух параметров центрифугирования: скорость и продолжительность вращения ротора, наибольшее влияние оказывает скорость вращения. Так, при центрифугировании сырого осадка на 4000 об/мин можно увеличить концентрацию фосфора в иловой воде почти в 10 раз в сравнении с исходными значениями.

3. Подобраны оптимальные дозы реагентов (CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, NaOH) для снижения фосфора в сточной жидкости до ПДК.

4. Разработана и предлагается технологическая схема физико-химической очистки стоков внутриплощадочной канализации, которая позволяет при минимальных капитальных эксплуатационных затратах уменьшить концентрацию фосфора в сточной жидкости на 50 %.

5. Выбрано оптимальное соотношение сточной жидкости и морской воды (1:0,25), обеспечивающее снижение фосфора до ПДК при значении pH = 10.

## Литература

- Амбросова Г. Т., Функ А. А., Иванова С. Д., Ганзориг Ш. Сравнительная оценка применяемых методов удаления фосфора из сточной жидкости // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 2. С. 25–36.
- Разуваева К. И., Тихонова Д. В. «Места наибольшего обогащения сточных вод фосфором на очистных сооружениях канализации». XXII Международная экологическая студенческая конференция (МЭСК-2017) «Экология России и сопредельных территорий», секция: «Геоэкология». Новосибирск, 2017.
- Амбросова Г. Т., Матюшенко Е. Н., Синеева Н. В. Места дефосфотирования городской сточной жидкости и эффект удаления фосфора реагентами // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4 (72). С. 13–25
- Амбросова Г. Т., Матюшенко Е. Н., Функ А. А., Синеева Н. В. Источники повышения концентрации фосфора в сточной жидкости, поступающей на очистные сооружения канализации, и способы их устранения // Строительство и техногенная безопасность. Сб. научных трудов академии строительства и архитектуры. ФГАОУВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского». СиТБ, № 5 (57). 2016. С. 24–31
- Амбросова Г. Т., Матюшенко Е. Н., Белозёрова Е. С., Гейсадинов Т. И., Нагорная Т. В., Функ А. А. Способ удаления фосфора из сточных вод, патент № 2654969, опубликовано 23.05.2018, бюл. №15.

**УДК 628.2**

*Анатолий Валентинович Кудрявцев,*  
канд. техн. наук, доцент  
*Владимир Петрович Верхотуров,*  
канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-Mail: water@spbgasu.ru*  
*Николай Дмитриевич Князев,* инженер  
(ООО «Стеклокомпозит Северо-Запад»)  
*E-Mail: knyazevnick@bk.ru*

*Anatolij Kudryavtsev Valentinovich,*  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
*Vladimir Petrovich Verkhoturov,*  
PhD of Tech. Sci., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-Mail: water@spbgasu.ru*  
*Nikolai Dmitrievich Kniyazev,* Engineer  
(LLC «Steklokompozit Severo-Zapad»)  
*E-Mail: knyazevnick@bk.ru*

## ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ НА ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ

### THE PROBLEM OF CALCULATION OF POLYMER PIPES IN LIMIT STATES

Статья посвящена проблемам расчета деформации подземных трубопроводов, выполненных из полимерных материалов.

Выбор трубы с оптимальными параметрами, обеспечивающими ее надежную работу в течение всего периода эксплуатации делает необходимым выполнение статических (а иногда и динамических) расчетов, учитывающих в достаточном количестве факторы, которые могут повлиять на наступление предельных состояний. На сегодняшний день, на федеральном уровне, не существует обязательной методики, регламентирующей прочностные расчеты подземных трубопроводов водоснабжения и водоотведения, что делает возможным использование упрощенных (неполных) методик, не учитывающих все возможные варианты нагрузок и состояний трубопровода.

*Ключевые слова:* расчет трубопроводов; деформации подземных трубопроводов; предельные состояния трубы.

Article is devoted to the problems of calculation of deformation of underground pipelines made of polymeric materials. Selection of pipes with optimal parameters, to ensure its reliable operation during the whole period of operation makes it necessary to perform static (and sometimes dynamic) calculations taking into account to a sufficient number of factors that may affect the onset of limit states. Today, at the federal level, there is no mandatory methods of regulating the strength calculations of underground pipelines of water supply and sewerage, which makes it possible to use the simplified (incomplete) techniques, not take into account all possible loads and pipeline state.

*Keywords:* calculation of pipelines; deformation of underground pipelines; the limit state of the pipes.

Водопроводно-канализационные системы являются одной из основных инфраструктур, обеспечивающих существование и социально-экономическое развитие современных городов. Дефицит в обеспечении необходимого уровня функционирования данной инфраструктуры может возникать в следствии старения (износа) существующих систем или в результате расширения и освоения новых территорий.

Обеспечение необходимого уровня функционирования системы, предполагает замену существующих и строительство новых трубопроводов водоснабжения и водоотведения.

Современный рынок предлагает трубы для сетей водоснабжения и водоотведения из различных материалов. Наиболее востребованными в настоящее время являются трубы, выполненные из полимерных материалов. Данные материалы обладают одновременно упругостью и вязкостью, что характеризуется соответствующей зависимостью между напряжением и линейной деформацией материалов.

Эластичность, с точки зрения жесткости трубы, подразумевает что при приложении к ней нагрузки, она теряет свое первоначальное сечение (круглая труба деформируется в овал), стенки трубы встречают сопротивления грунта, в результате чего деформации трубы и изгибающие моменты значительно уменьшаются, а несущая способность трубы увеличивается [1].

В соответствии с Федеральным законом [2] трубопроводы систем водоснабжения и водоотведения должны рассчитываться по прочности и устойчивости на предельные состояния, характеризующиеся:

- разрушением любого характера;
- потерей устойчивости формы;
- потерей устойчивости положения;
- нарушением эксплуатационной пригодности и иным явлениям, связанным с угрозой причинения вреда жизни и здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

Первое предельное состояние, предполагает расчет по несущей способности (расчет на прочность) и обязателен как для жестких, так и для эластичных труб. Здесь также следует учитывать, что для труб, проложенных на небольшой глубине, динамические воздействия (например, транспортные нагрузки) могут оказаться существенней статических. Для таких случаев требуется расчет на выносливость с учетом динамических свойств материала.

Второе предельное состояние, предполагает расчет на деформацию, что характерно только для эластичных труб. Расчетом определяются такие деформации трубы, при которых нарушится работоспособность системы (например, потеря герметичности, либо деформация, приводящая к потере несущей способности).

Третье предельное состояние предполагает расчет на потерю положения трубы. К такому состоянию можно отнести расчет на всплытие трубопровода, изменение его положения при перемещении грунта в результате сейсмического воздействия и т. п.

Четвертое предельное состояние предполагает расчет с учетом изменение свойств трубы в течение всего периода эксплуатации и аварийных предельных состояний [2]. К такому состоянию можно отнести расчеты, учиты-

вающие изменение свойств материала трубы за счет истирания, коррозионной активности при взаимодействии с внешней или транспортируемой средой и т. п.

Таким образом, расчетами требуется подтверждать отсутствие наступления предельных состояний при определенном сочетании факторов для конкретных расчетных ситуаций.

На сегодняшний день, на федеральном уровне, не существует обязательной методики, регламентирующей прочностные расчеты подземных трубопроводов водоснабжения и водоотведения, что делает возможным использование упрощенных (неполных) методик, не учитывающих все возможные варианты нагрузок и состояний трубопровода.

На региональном уровне, существующие рекомендации по расчету [4], дают возможность для расчета эластичных труб, прокладываемых открытым способом, использовать три различных методики [5, 6, 7], соответственно обеспечивающих разный уровень точности получаемых результатов.

В качестве примера, в таблице представлены результаты статических расчетов деформации безнапорной (PN1) стеклопластиковой трубы (номинальной жесткости SN10000) по трем выше приведенным методикам. При расчете были использованы следующие исходные данные: труба, прокладывается открытым способом в суглинистых грунтах с модулем деформации  $E = 10$  МПа, стенки траншеи принимаются вертикальными, способ крепления стенок траншеи не учитывается. Ширина траншеи принимается по СП [8]. Обратная засыпка выполняется песком с послойным уплотнением не менее 95 %. Постоянными параметрами служат характеристики местного грунта, грунта обратной засыпки. Переменные параметры – глубина прокладки, диаметры трубы.

№ п/п	Номинальный диаметр трубы DN	Глубина до верха трубы, м	Ширина траншеи, м	Расчетная деформация, %, определяемая по методике		
				ATV DVWK-A127	AWWA M45	СП 40-102-2000
1	500	2	1,3	1,44	0,57	1,14
2		4		1,73	1,04	1,27
3		6		1,91	1,49	1,39
4		8		2,02	1,9	1,52
6	1000	2	1,9	1,48	0,74	2,01
7		4		1,86	1,39	2,81
8		6		2,14	2,01	3,61
9		8		2,34	2,59	4,41
11	1500	2	2,6	1,47	0,82	2,11
12		4		1,91	1,55	2,91
13		6		2,25	2,26	3,71
14		8		2,53	2,93	4,51

Как видно из таблицы, полученные результаты расчетов по трем методикам, в среднем имеют расхождение около 50 %, что делает невозможным обоснованный выбор оптимальных параметров трубы.

Каждая из методик учитывает ряд разных факторов, влияющих на конечную величину деформации подземного трубопровода. С нашей точки зрения, из всех рассматриваемых факторов, можно выделить пять наиболее значимых:

- статические нагрузки (включая дополнительные нагрузки, приложенные на поверхность земли);
- динамические нагрузки (включая возможные варианты перемещения грунта, в том числе для сейсмически активных зон);
- способ проведения строительно-монтажных работ (включая ширину траншеи и способы крепления ее стенок);
- геологические условия прокладки трубопровода;
- изменение свойств трубы в течение всего периода эксплуатации (включая изменения под воздействием окружающей и транспортируемой среды).

Анализируя методики проведения статических расчетов можно заметить, что учет геологических условий прокладки, способов проведения СМР и изменение свойств трубы в течение периода эксплуатации, не всегда является достаточно полным и обоснованным, хотя между этими факторами прослеживается явная взаимосвязь.

В соответствии с рекомендациями СП [8] ширину траншеи и крепление ее стенок при открытом способе прокладки трубопроводов следует выбирать с учетом обеспечения размещения людей, конструкций, оборудования и удовлетворения требованиям безопасности при производстве работ. Чаще всего, с учетом стесненных условий, характерных для застроенных территорий, а также объемов перемещаемого грунта при производстве работ, предусматривается минимально возможная ширина траншеи, что при соответствующей глубине может привести к увеличению деформационных нагрузок и необходимости использования трубы большей номинальной жесткости.

Помимо ширины траншеи, следует учитывать физическо-механические характеристики местного грунта, воспринимающего перераспределенные напряжения от эластичной трубы, деформирующейся под воздействием внешних нагрузок.

Не маловажное влияние на расчетную деформацию трубы оказывает и использование для крепления стенок траншеи конструкций (щитов, шпунтовых элементов и т. д.), извлекаемых после полной или частичной засыпки траншеи. Следствием этого является разуплотнение грунта, происходящее в зоне укладки трубопровода, что неизбежно приводит к снижению модуля деформации грунта засыпки и к увеличению деформаций трубы.



Влияние ширины траншеи, свойств местного грунта и вида креплений стенок траншеи на расчетную деформации трубы показаны на графиках (рис. 1, 2), построенных по результатам статических расчетов для безнапорной (PN1) стеклопластиковой трубы номинальной жесткости SN5000, проложенной открытым способом в траншее с вертикальными стенками, для

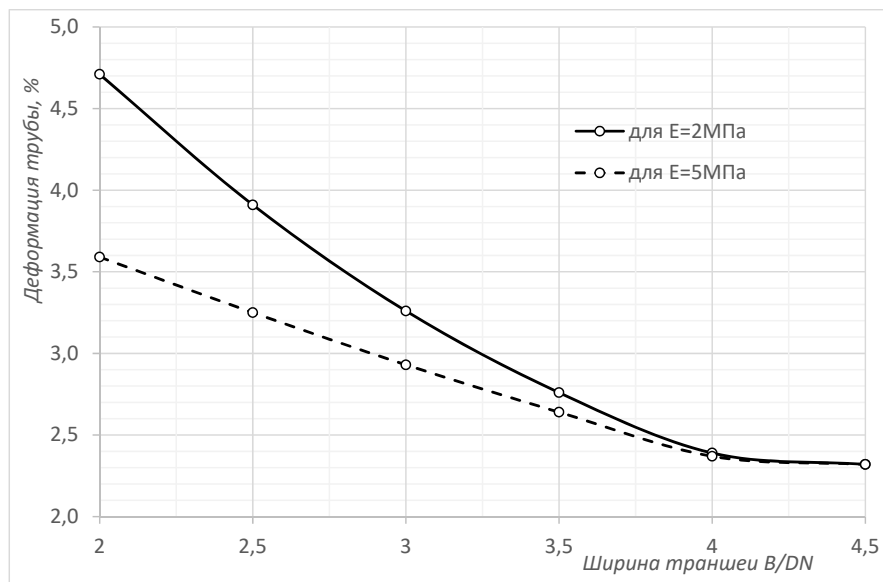


Рис. 1. График зависимости деформаций трубы, %, от ширины траншеи,  $B/DN$ , для различных значений модуля деформации местного грунта  $E$ , МПа, при глубине заложения до верха трубы  $H = 6$  м, без учета крепления стенок траншеи

случаев использования извлекаемых и не извлекаемых креплений стенок траншеи. Труба проложена на глубине 6м от верха трубы, обратная засыпка выполняется песком с уплотнением 95 %. Переменными параметрами являются значения модуля деформации местного грунта ( $E$ ) и отношение ширины траншеи  $B$ , к номинальному диаметру уложенной трубы  $DN - B/DN$ .

Из графика (см. рис. 1) видно, что развитие деформаций эластичной трубы зависит от модуля деформации местного грунта лишь до определенных пределов. Увеличение ширины траншеи ведет к замещению местного грунта грунтом обратной засыпки, который, как правило, обладает значительно большим модулем деформации (для песка со степенью уплотнения 95 %, модуль деформации составляет около 8 МПа). Таким образом, при замещении местного грунта на ширину более четырех диаметров трубы, его влияние на деформацию трубы становится малозначимым.

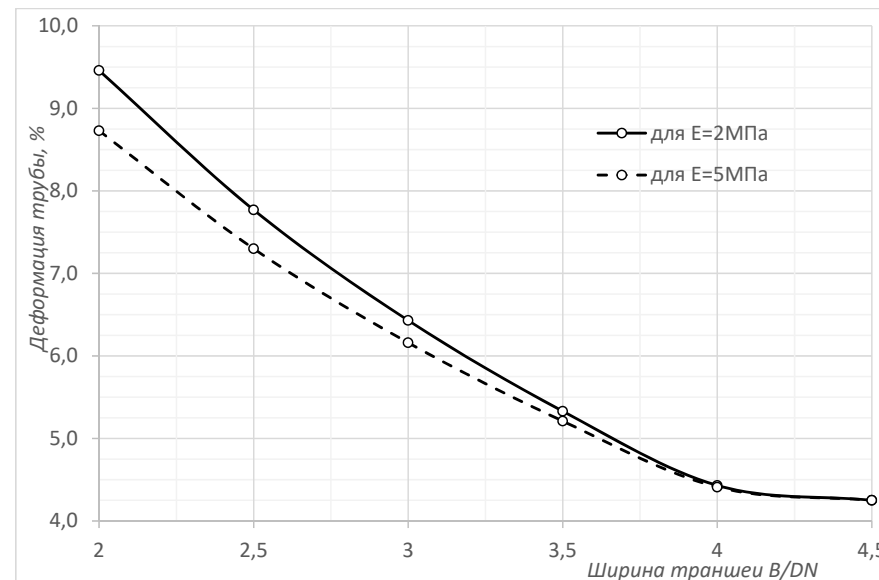


Рис. 2. График зависимости деформаций трубы, %, от ширины траншеи  $B/DN$ , для различных значений модуля деформации местного грунта  $E$ , МПа, при глубине заложения до верха трубы  $H = 6$  м, с учетом извлекаемого крепления стенок траншеи

Анализируя график, представленный на рис. 2, можно сделать вывод, что способ крепления стенок траншеи в значительной мере влияет на развитие деформаций эластичной трубы. В данном случае влияние модуля деформации местного грунта не столь существенно. Решающим фактором на развитие деформаций трубы является снижение значения модуля деформации грунта обратной засыпки, происходящее в следствии его разуплотнения при извлечении элементов креплений стенок траншеи.

Как отмечалось ранее, при выборе материала трубы следует обеспечить ее надежную работу в течение всего периода эксплуатации. Для многих систем инженерных сетей, расчетный срок эксплуатации составляет 50 лет и более [3].

С течением времени под воздействием постоянной нагрузки пластичный материал трубы испытывает непрерывный рост деформаций, определяемый ползучестью материалов [9]. В большинстве случаев, данный параметр определяют по изменению значений модуля упругости, полученных экстраполяцией результатов долгосрочных (как правило не более 2-х лет) испытаний. Отношение первоначального модуля упругости к конечному (экстраполированному на срок до 50-и лет) называют коэффициентом ползучести.

Для сравнения влияния ползучести на развиваемые деформации пластичных труб, изготовленных из различных материалов, с течением времени при разных глубинах прокладки, были проведены статические расчеты безнапорных (PN1) стеклопластиковых и гофрированных полипропиленовых труб диаметром 1000 мм. При расчете учитывались следующие условия: труба прокладывается открытым способом, в траншее с вертикальными стенками. Модуль деформации окружающего грунта  $E = 2$  МПа, ширина траншеи  $B/DN = 2$ . Стеклопластиковая труба принимается номинальной жесткости SN5000, полипропиленовая труба – номинальной жесткости SN8000. Для стеклопластиковой трубы коэффициент ползучести, при периоде времени 50 лет, составляет  $k = 2$ , для полипропиленовой трубы и аналогичного периода времени –  $k = 4$ . Результаты расчет представлены на графиках (рис. 3).

Анализируя данный график, можно сделать вывод, что изменение деформации трубы с периодом времени будет в значительной мере зависеть от характеристик материала трубопровода (сочетания показателей упругости и вязкости) что в значительной степени проявляется при воздействии значительных (близких к предельным) нагрузок. Таким образом, показатель начальной кольцевой жесткости трубы не может являться достаточным условием для обоснованного выбора типа и материала трубопровода.

### Выводы

Трубопроводы систем водоснабжения и водоотведения должны соответствовать требованиям по надежности и безопасности в течении всего жизненного цикла. Расчет предельных состояний трубопровода с учетом максимального количества значимых факторов, являются одним из условий обеспечения данных требований и позволяет подобрать трубу с оптимальными параметрами в рамках решаемой задачи.

На сегодняшний день, не одна из методик, рекомендуемых для расчета, не учитывает в полной мере факторы, влияющие на наступление предельных состояний трубопровода, более того, каждая из рассмотренных выше методик, учитывает свой ряд параметров, что не позволяет обоснованно сравнивать полученные результаты.

Для обоснованного выбора трубы оптимально соответствующей конкретным условиям работы, необходима разработка единой методики расчета прочностных характеристик, которая сможет более полно учитывать статические и динамические нагрузки, методы ведения строительно-монтажных работ, изменение свойств трубы в течение всего периода эксплуатации (включая изменения под воздействием окружающей и транспортируемой среды).

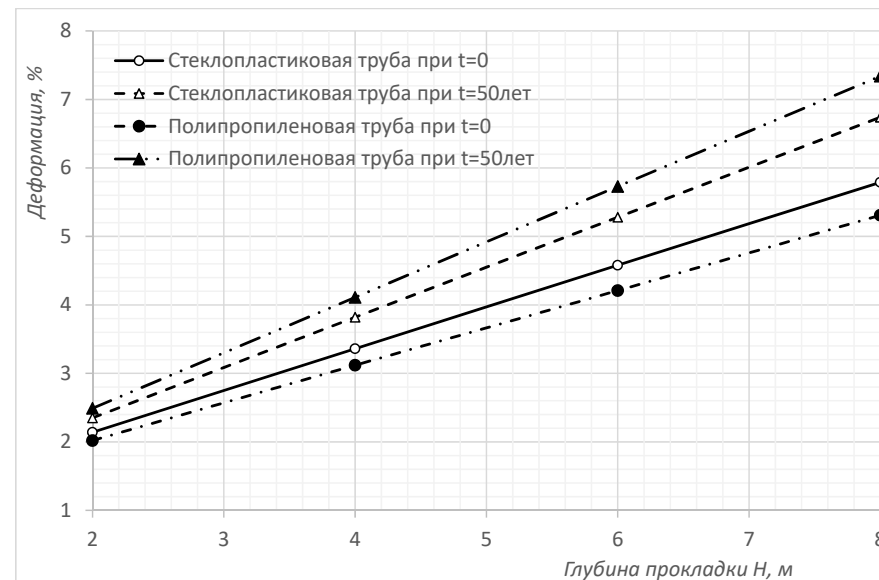


Рис. 3. Графики зависимости деформаций труб, % от глубины прокладки (над поверхностью трубы H, м, для разных материалов с учетом значения их коэффициента ползучести

### Литература

1. Клейн Г. К. Расчет труб, уложенных в земле. М.: Госстройиздат, 1957. 196 с.
2. Федеральный закон РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 №384 ФЗ (в ред. от 02.07.2013).
3. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2015. 15 с.
4. РМД 40-20-2016 Устройство сетей водоснабжения и водоотведения в Санкт-Петербурге. Актуализированная редакция РМД 40-20-2013.
5. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. М.: ФГУП ЦПП, 2000. 35 с.
6. AWWA Manual M45 Fiberglass pipe design. 2nd ed. AWWA, 2005. p. 170.
7. ATV-DVWK-A 127 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und – leitungen. Germany: GFA, 2000.
8. СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. М.: ФГУП ЦПП, 2012. 145 с.
9. Писаренко Г. С., Можаровский Н. С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Справочное пособие. Киев: Наукова Думка, 1981. 496 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Медведева О. Н., Муракаев М. Р. Очистка воды с использованием гидродинамической кавитации.....	3
Медведева О. Н., Перевалов С. Д. Разработка расчетной модели биогазовой установки для очистки природных, оборотных и сточных вод.....	9
Мурадов Ш. О. Научно-практическое обоснование водоустойчивости аридных территорий мира.....	15
Мурадов Ш. О., Киличева Д. И., Эшанкулов Р. А., Маманов Ж. Г. Экологическое образование-ключ рационального водопользования.....	25
Мурадов Ш. О., Турдиева Ф. А. Научно-практическое обоснование субиригации как фактор повышения эффективности использования подземных и поверхностных вод в аридной экосистеме.....	32
Новикова О. К., Невзорова А. Б. Особенности формирования качественного состава поверхностных сточных вод с площадок предприятий сельскохозяйственного машиностроения.....	42
Палагин Е. Д., Гриднева М. А., Быкова П. Г. Исследование влияния поверхностного стока на качество исходной воды насосно-фильтровальной станции в условиях г. Самары.....	52
Стрелков А. К., Теплых С. Ю., Быстранова А. О. Исследование по очистке сточных вод маслоэкстракционного завода.....	59
Цветкова Л. И., Копина Г. И., Неверова-Дзипак Е. Экологическое направление на кафедре водопользования и экологии.....	66
Ющенко В. Д., Галузо А. В. Внедрение современных экологических технологий на примере очистных сооружений канализации г. Витебска.....	72
Федоров С. В., Телятникова А. М. Оценка интенсивности газовыделения сероводорода на участке канализационной сети.....	81
Цветкова Л. И., Макарова С. В., Барышникова Т. Н. Еще раз о проблемах экологического образования.....	86
Орешин А. А., Игнатчик С. Ю., Феськова А. Я. Результаты экспериментального исследования неравномерности и достоверности прогнозов выпадения дождей в Санкт-Петербурге.....	92
Васильев В. М., Морозов Г. В. Методы ремонта и восстановления самотечных канализационных трубопроводов.....	99
Феофанов Ю. А., Жуковицки В. Особенности режимов водопотребления крупных городов и курортных поселков в современных условиях.....	102
Яковлева Е. И., Тихонова Д. В. Разработка технологических схем удаления фосфора из сточной жидкости.....	110
Кудрявцев А. В., Верхотуров В. П., Князев Н. Д. Проблемы расчета полимерных труб на предельные состояния.....	122

Научное издание

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Материалы международной научно-практической конференции,  
приуроченной к 130-летию кафедры водопользования и экологии

5–7 декабря 2018 года

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 30.10.2018. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.  
Усл. печ. л. 7,7. Тираж 300 экз. Заказ 122. «С» 77.  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.  
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ