

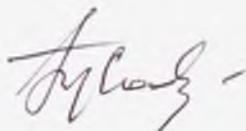
2009-39

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ  
им. Н. ИСАНОВА**

**Диссертационный совет К 05.07.360**

**На правах рукописи  
УДК 502.55:628.54 (043.3)**

**Токтогулов Таалайбек Садыкович**



**Использование водобоев - энергогасителей  
для повышения самоочищающей способности водотоков  
(на примере реки Ак-Буура)**

**Специальность 05. 23. 04- водоснабжение, канализация и  
строительные системы охраны водных ресурсов**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Бишкек 2009**

Работа выполнена в Ошском технологическом университете  
им. академика Адышева М.М., на кафедре  
«Защита в чрезвычайных ситуациях»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
академик Международной Инженерной  
академии Абдурасулов И.А.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор,  
академик Национальной Инженерной  
академии Республики Казахстан,  
академик Международной Инженерной  
академии  
Мырзахметов М.М.;

доктор физико-математических наук,  
профессор Исманбаев А.И.

**Ведущая организация:** Кыргызский научно-исследовательский  
и проектный институт сейсмостойкого строительства

Защита диссертации состоится « 5 » июня 2009 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета К05.07.360 при Кыргызском Государственном университете строительства, транспорта и архитектуры по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34,б. в ауд1/101. Тел./факс: (996-312) 54-51-36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

Автореферат разослан «29» апреля 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Маданбеков Н.Ж.

## ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Общие сведения.** Рациональное использование и охраны водных ресурсов в последнее время приобретает все большее значение. Интенсивное развитие сельскохозяйственного производства, благоустройства г. Ош и других населенных пунктов расположенных на территории бассейна реки Ак-Буура, а также постоянный рост водопотребления в производственных, бытовых и рекреационных целях сопровождается образованием большого количества сточных вод, которые попадают в реку. В результате, в черте города по течению реки ухудшается качества воды.

В природных водах всем воздействиям, ухудшающим качество воды, противостоит ассимилирующая способность водного объекта, его естественная способность принимать определенную массу загрязняющих органических веществ в единицу времени без нарушения нормативного качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования. Улучшение ассимилирующей способности водотоков позволяет, снизить темпы загрязнения и истощения водных объектов, а также затрат на ликвидации последствий загрязнения.

В числе важнейших факторов, улучшающих ассимилирующей способности водных объектов, следует назвать поддержание в водоемах благоприятного кислородного режима. Наличие в воде достаточного количества растворенного кислорода в значительной мере определяет санитарный и гидробиологический облик водоема и уменьшает экологический ущерб.

**Актуальность работы** заключается в том, что она направлена на повышение ассимилирующей способности речных вод (водотоков) с помощью водобоев-энергогасителей (искусственных аэраторов) при целесообразных сочетаниях естественных особенностей водного потока и характеристик гидротехнических сооружений, в целях улучшения качественных показателей воды водотоков, используемых для питьевого водоснабжения, рыбохозяйственных и рекреационных нужд.

Работа выполнена в рамках «Государственной комплексной программы развития науки, техники и новых технологий Кыргызской Республики» и входила в план НИР ОшГУ.

**Цель работы** - теоретические и экспериментальные исследования процесса аэрации водного потока и ее влияние на ассимилирующей способности водотока, разработка методики расчета водобоев-энергогасителей и эффективной технологии насыщения воды кислородом воздуха для повышения ассимилирующей способности воды в зависимости от конструкции аэратора, гидравлических и гидрологических характеристик водотока, а также концентрации загрязняющих веществ содержащихся в воде и необходимой степени аэрации.

### **Задачи исследования:**

- анализ природно-климатических условий и гидрологических характеристик водотока- реки Ак-Буура;
- изучение качественного и количественного состава воды водотока;
- определение закономерности динамики изменения концентрации растворенного кислорода в воде водотока и динамики изменения отдельных компонентов загрязняющих веществ по течению р. Ак-Буура;



- разработка методики определения насыщения воды кислородом воздуха, в процессе турбулизации границ жидкости и атмосферного воздуха;

- теоретические и экспериментальные исследования процесса аэрации разными конструкциями аэраторов, с учетом гидрологических характеристик и условия протекания водотока, насыщение воды растворенным кислородом и влияние их на ассимилирующую способность водотока, в зависимости требуемой степени очистки воды;

- разработка технологии для повышения самоочищающей способности воды водотоков и определение ее экономической эффективности.

#### **Научная новизна работы:**

- систематизированы информационные материалы по природно-климатическим условиям, гидрологическим характеристикам, количественным и качественным показателям воды р. Ак-Буура;

- установлена закономерность изменения концентрации растворенного кислорода в воде и концентрации загрязняющих веществ, в процессе турбулизации водовоздушных границ водотока;

- получены аналитические зависимости, позволяющие определить конструкцию аэратора, для конкретных гидравлических и гидрологических характеристик водотока и качества исследуемой воды;

- разработана новая технология для повышения самоочищающей способности воды водотоков и определены ее технико-экономические показатели.

**Достоверность результатов.** Результаты исследований и выводы обоснованы и достоверны, подтверждаются результатами информационных и рекогносцировочных анализов и теоретических и экспериментальных исследований, где решаются краевые задачи использования современных математических аппаратов, физико-химических и бактериологических методов исследований.

Сопоставление результатов расчета инженерных параметров сооружений и процессов с данными экспериментальных исследований по обогащению воды кислородом воздуха и ее влияние на динамику изменения загрязнителей показали, что погрешность измерений находится в пределах 4-6%.

**Практическая значимость работы** заключается в: систематизации информационных материалов по природно-климатическим условиям, гидрологическим характеристикам, количественным и качественным показателям воды р. Ак-Буура; установлении закономерности изменения концентрации растворенного кислорода в воде и концентрации загрязняющих веществ, в процессе турбулизации водовоздушных границ водотока; разработке методики расчета водобоев-энергогасителей для повышения самоочищающей способности водотоков; методике расчета конструкции и места расположения аэрирующего сооружения (водосливов) с учетом условий протекания и ложи водотока; разработке новой технологии для повышения самоочищающей способности воды водотоков и определении ее технико-экономических показателей.

**Личный вклад автора в науку** заключается в: анализе природно-климатических условий и гидрологических характеристик, количественного и качественного состава воды р. Ак-Буура; определении закономерности динамики изменения концентрации растворенного кислорода и отдельных компонен-

тов загрязняющих веществ по течению р. Ак-Буура; разработке методики определения насыщения воды кислородом воздуха, в процессе турбулизации границ жидкости и атмосферного воздуха; теоретических и экспериментальных исследований процесса аэрации и ее влияние на ассимилирующую способность водотока, в зависимости требуемой степени очистки воды; разработке технологии для повышения самоочищающей способности воды водотоков и определение ее экономической эффективности; анализе и обобщении результатов исследований.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- систематизированный информационный материал по природно-климатическим условиям, гидрологическим характеристикам, количественным и качественным показателям воды р. Ак-Буура;

- установленная закономерность изменения концентрации растворенного кислорода в составе воды водотока и динамика изменения концентрации загрязняющих веществ по течению водотока;

- разработанная методика по определению степени насыщения исследуемой воды кислородом в процессе турбулизации границ жидкости и атмосферного воздуха;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса аэрации разными конструкциями аэраторов и влияние их на ассимилирующую способность водотока;

- разработанная методика выбора и расчета аэраторов-водобоев;

- разработанная технология для повышения ассимилирующей способности воды водотока и установленные ее технико-экономические показатели.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации обсуждались на Республиканской научно-технической конференции БатГУ (2001 г.), на Республиканской научно-практической конференции Ошского Технологического университета «Экология и природные ресурсы Тянь-Шаня» (2002 г.), на научнотехнической конференции КАУ им. К. И. Скрябина (2004 г.), на научнотехнической конференции Ферганского политехнического института (2007 г.), на научнотехнической конференции КГТУ им. И. Раззакова (2008 г.), на международной научно-практической конференции КАУ им. К.И. Скрябина (2008 г.) и на международной научно-технической конференции ОшГУ им. М.М. Адышева (2008 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 12 статей, в том числе 9 в изданиях рекомендованных НАК КР.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и приложений. Текстовая часть изложена на 110 страницах. В диссертации содержится 17 таблиц, 29 рисунка, библиографический список насчитывает 112 наименований.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** раскрывает актуальность и перспективы использования водоев-энергоснабжителей (в качестве аэратора) для повышения ассимилирующей способности водотоков. Сформулированы цели и задачи исследования, обоснована научная новизна и практическая значимость работы, достоверность результатов исследований и научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения по апробации работы, публикациям основного содержания, объеме и структуре диссертации.

**Первая глава** посвящена изучению физико-географического, геологического условий ложи и гидрологических характеристик р. Ак-Буура.

По физико-географическому районированию Кыргызстана, рассматриваемая территория относится к Алай-туркестанской физико-географической области. Гипсометрические изменения рельефа идут в долготном направлении в связи с чем, в исследуемом районе выделяются следующие высотные пояса: предгорная равнина (900-1100м), предгорный пояс (1100-1800 м), среднегорный пояс (1800-3500 м), высокогорный пояс (3500- свыше 5000 м).

В геологическом строении рассматриваемого района принимает участие комплексы пород палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. В геоморфологическом отношении в исследуемом районе резко выделяются участки Катарского массива, Папанской впадины и поймы р. Ак-Буура в черте г. Ош. Пойма р. Ак-Буура в черте города условно разделены на три элемента: русло, собственно пойма и I надпойменная терраса.

Река Ак-Буура берет начало на северном склоне Алайского хребта на высоте свыше 4000 м, в зоне «вечных снегов» и ледников и протекает в меридиальном направлении с юга на север. Река относится к рекам ледниково-снегового типа питания и является рекой трансграничной. Среднегодовой расход ориентировочно равен  $21,67 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Максимальные расходы воды по реке формируются в период половодья (апрель-сентябрь) и в черте города составляет  $5,9 \text{ м}^3/\text{с}$ . Согласно расчета, методом моментов с учетом выдающегося максимума:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left[ \frac{Q_{N'} + (N'-1)Q_1}{(n-1) \sum_{i=1}^{n-1} Q_i} \right], \quad (1)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N'} \left[ \left( \frac{Q_{N'} - Q_1}{Q} \right)^2 + \frac{N'-1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{Q_i - Q_1}{Q} \right)^2 \right]}, \quad (2)$$

где  $N'$  - число лет, в течении которых выдающиеся значение гидрологической характеристики не было превышено;

$\bar{Q}_1$  - средний максимальный расход воды;

$Q_{N'}$  - максимальный выдающийся расход;

$n$  - число лет наблюдений;

$C_v$  - коэффициент вариации;

Максимальный расход воды 0,1 и 1%-ной обеспеченности соответственно равны  $465$  и  $306 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Во второй главе** исследованы качественные показатели воды р. Ак-Буура и влияние растворенного кислорода на санитарное состояние речной воды.

Установлены усредненные значения в межсезонном разрезе и по течению реки от выхода из ущелья «Даньги» до границы с Республикой Узбекистан (табл. 1).

Таблица 1. Химические показатели воды р. Ак-Буура

Показатели	Места отбора проб			
	У выхода из ущелья	Участок реки на ЮВ гор.	В середине города	Ниже сброса сточных вод гор. кан.
Прозрачность(см)	20	10	6	4
Запах (балл)	0	0	2	3
Растворенный $O_2$	9,0	8,0	6,1	4,3
БПК <sub>5</sub>	1,6	2,4	8,3	10,8
Аммиак (мг/л)	0	0,3	0,3	3,4
Нитриты (мг/л)	0	0,01	0,03	0,05
Нитраты (мг/л)	0,5	7,0	10,0	20,0

Из приведенной таблицы последовательно прослеживается явление загрязнения р. Ак-Буура, вода которой на выходе из ущелья отвечает всем санитарным нормативам. Но в черте города уже явно заметно ухудшается качество. Это следствие попадания в речную воду твердых и жидких отходов из зон отдыха и жилого массива. В середине города эти негативные процессы продолжают нарастать, и ниже сброса сточных вод городской канализации вода приобретает свойства, делающие ее непригодной для хозяйственно-бытовых и рекреационных целей без соответствующей подготовки. В период атмосферного осадка, в результате попадания поверхностного стока в речную воду, концентрация органических веществ увеличивается в несколько раз.

В целях изучения влияния количества растворенного кислорода на санитарное состояние водного объекта, на отдельных участках реки Ак-Буура проведены исследования по содержанию кислорода, и результаты сопоставлены с результатами анализов проб по БПК, взятых на этих участках. На рис.1 показаны значения относительного содержания растворенного кислорода в воде р. Ак-Буура.

Пункты исследования находились по течению р. Ак-Буура, на расстоянии 1,5-2 км друг от друга и соответствуют разным жилым районам г. Ош. На всей протяженности протекания реки в черте города выделены 7 контрольные пункты: около Ошского технологического университета им. Академика Адышева М. М.(1), призывного пункта областного военного комиссариата (2), парка им. Токтогула Сатылганова (3), городского центрального стадиона им. А. С. Суюнбаева (4), парка им. Алишера Навои (5), ниже центрального рынка (6) и на границе г. Ош с Кара-Суйским районом (7).

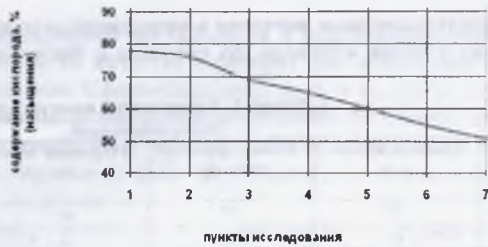


Рис. 1. Динамика изменения концентрации растворенного кислорода воды р. Ак-Буура.

На рис. 2 представлена динамика роста значения БПК<sub>5</sub> воды р. Ак-Буура.

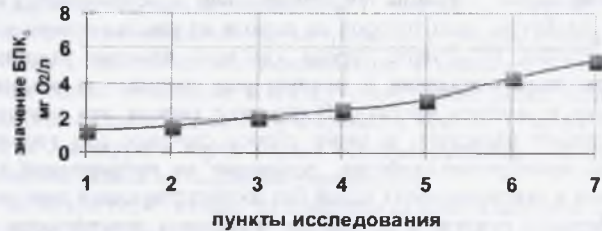


Рис. 2. Динамика роста значения БПК<sub>5</sub> воды р. Ак-Буура по течению

На основании изложенных материалов можно считать, что регулируя содержание кислорода в воде, можно обеспечить проблему необходимого уровня санитарного состояния воды.

**В третьей главе** изучены состояния вопроса аэрации воды.

Существенный вклад в изучение аэрируемости потоков, самоочищающей способности водотоков, а также в разработке методов их расчета внесли Пааль Л.Л., Каплин В.Т., Айтсам А.М., Вельнер Х.А., Саава А.Э., Вавилин В. А., Стритер Г.В., Худенко Б.М., Гордин И.В., Сакварелидзе В.В. и другие.

В результате неустойчивости свободной поверхности потока и вследствие потери устойчивости установившегося режима движения в пределах достаточно длинного водосбросного тракта развивается движение воды в виде аэрированного потока или в виде катящихся волн (аэрированный поток может быть также неустойчивым и обуславливать катящиеся аэрированные волны).

Существуют следующие параметры установившегося аэрированного потока:

- концентрация вовлеченных воздушных включений определяемая выражением:

для распределении концентрации

$$s = 0.5 \left[ \frac{1 + \eta}{8(1.25 - \eta)} \right], \quad n = \frac{0.445 \sigma_a \cos \theta}{\mu v}, \quad (3)$$

для средней по глубине водовоздушного слоя концентрации

$$S = \frac{1.125}{8^k} [\varphi(p_h) - \varphi(p_0)] + 0.625 * 0.1^k - 0.125. \quad (4)$$

где  $k = \frac{2.23 \sigma \cos \theta}{\sqrt{gh \sin \theta}}$ ;  $p_h = 8^k$ ;  $p_0 = 0.8^k$ ; функция  $\varphi(p) = \int \frac{dp}{1 + p^k}$  может быть

взята по таблицам интегралов Бахметева-Павловского для водотоков с обратным уклоном дна:  $\sigma_a = 0.24$  м/с – гидравлическая крупность пузырьков воздуха.

- расход водовоздушной смеси:

$$\bar{Q} = \bar{Q}_a + \bar{Q}_v = \frac{1 - 0.65S}{1 - S} Q, \quad (5)$$

где  $Q$  – расход воды на водосбросе.

- эффективная толщина потока, увеличенная за счет вовлеченного воздуха:

$$\frac{i_0^d}{h_0} = \bar{\eta}_v - \bar{\eta}_h - (1 - \bar{\alpha}_v) N_{cr}^{\frac{1}{2}} [F(\zeta_2) - F(\zeta_1)] - \frac{N_{cr}^{\frac{1}{2}} h_0}{2} \frac{S_2 - S_1}{h_2 - h_1} * [F(\zeta_2) - F(\zeta_1)], \quad (6)$$

где  $i_0^d$  – уклон дна;  $h_0$  – глубина потока при равномерном движении без учета аэрации:

- полный импульс аэрированного потока;  
- высота слоя спутного воздушного потока с диспергированными каплями воды.

Критерий неустойчивости (начала аэрации) поверхности раздела вода-воздух устанавливается на основании совместного преобразования уравнений возмущенных потоков воды и воздуха, представленных уравнениями Навье - Стокса и учитывающих турбулентную вязкость, и уравнений невозмущенного движения воды и неподвижной воздушной среды, представленных уравнениями Эйлера. Использование модели идеальной жидкости для невозмущенного потока допустимо в данном случае благодаря малости касательных напряжений и практическому постоянству осредненных скоростей по глубине в пределах поверхностного слоя, при этом устойчивостью течения понимается отсутствие увеличения во времени малых возмущений (устойчивость Гельмгольца-Кельвина) вместо их полного затухания (асимптотической устойчивости по Ляпунову).

Створ начала аэрации потока при данном расходе и соблюдении вышеизложенных условий, можно найти по значению средней по поперечному сечению скорости ( $V_{н. а}$ ), или зависимости

$$V_{н. а} = 6.17 \sqrt{gR \cos \alpha_n} \quad (7)$$

Для участка водосброса по формуле

$$v = \sqrt{2g(H + \Delta z)}, \quad h = \frac{Q}{(bV)}, \quad (8)$$

находились значения  $h$  и  $V$ , и по условию  $V_{н. а} = V$  - положение створа, в котором среднее воздухосодержание принимались равным 0,14 (14 %). При этом усло-



вии начинается захват потоком воздуха в результате обрушения поверхностных волн.

Уравнение установившегося аэрированного потока имели вид:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_0 - N \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \alpha N \frac{Q^2 B}{g \omega^2} + NN' \frac{Q^2 B h dS}{g \omega^2 dh}} \quad (9)$$

где  $N = \frac{(1 - 0,65N)}{1 - S}$ ;  $N' = \frac{3,5}{10 - 160S + 0,5S^2}$ ;  $g = g \cos \theta$ ;

$S$  – средняя по глубине  $\bar{h}$  концентрация воздуха;

$\bar{h}$  – глубина водовоздушного слоя аэрированного потока под которой понимается расстояние от дна до той точки в которой местная концентрация воздуха равна 0,5;

$Q$  – расход воды;

В данное время очищение воды с помощью способа аэрации широко применяется. Существуют множество видов аэраторов, но все они применяются только в определенных условиях и для очистки производственных сточных вод, а также водоемов со стоячими водами. На повышение ассимилирующей способности водотоков с помощью способа аэрации не уделяется должное внимание.

В Кыргызской Республике реки, как известно в основном горные и предгорные реки, которые подвергаются антропогенным воздействиям. При этом загрязнения речных вод имеет различный характер. В последствии использования речных вод горных и предгорных рек, после упрощенной обработки, на хозяйственно-питьевые нужды становится невозможным. По данным профессора Абдурашулова И. А. во многих случаях можно было искусственно повысить ассимилирующей способности речных вод, особенно в случаях когда река протекает вблизи или через населенные пункты. Это дало бы возможность упростить технологическую схему обработки природных вод на различные нужды.

Вопросами изучения ассимилирующей способности речных вод Кыргызстана основательные исследования не проводились. Поэтому изучение процесса аэрации речных вод и разработка инженерно-технических мероприятий по повышению ассимилирующей способности для реальных речных вод заслуживает внимание. Проведение теоретических и экспериментальных исследований по этому вопросу имеет большой интерес в научно-техническом плане, и существенно может влиять на социально-экономическое развитие Кыргызстана.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям по определению ассимилирующей способности водного потока.

Экспериментальные исследования по изучению ассимилирующей способности водного потока проводились в лабораторных условиях для определения факторов, влияющих на аэрацию и насыщению исследуемой воды кислородом воздуха. Экспериментальные исследования проводились на моделях гидротехнических сооружений. Модели сооружений были определены исходя из геометрических размеров сооружений и устройств, а гидродинамическая характеристика принималась исходя из реальных условий реки Ак-Буура. При ис-

следованиях было изучено насыщение воды кислородом воздуха при прохождении ее через водослив.

Выполнению экспериментальных исследований предшествовало анализ результатов исследований ученых и инженеров Пааль Л. Л., Худенко Б. М., Вавилина В. А., Сакварелидзе В.В. и др.

Результаты исследований указанных инженеров позволяют констатировать, что из всех конструкций водосливов аэраторов заслуживают внимание для решения поставленных задач диссертации конструкции водосливов с широким порогом и с тонкой стенкой. Кроме того, заслуживает внимание вопрос изучение расстояний между порогами, что позволяет обеспечивать стабильность максимального насыщения загрязненной воды кислородом воздуха. Поэтому изучение ассимилирующей способности водного потока проводилось в два этапа:

1. влияние размеров конструкции водосливов с широким порогом и с тонкой стенкой;
2. изменение ассимилирующей способности воды в промежуточном расстоянии между водосливами.

Для определения удельного расхода воды в лотке было использовано выражение

$$q = \mu h_{cp} \sqrt{2gH} \quad (10)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода водослива;  
 $h_{cp}$  – средняя высота сечения струи на водосливе, м;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $H$  – напор на водосливе.

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha_{кин} + \zeta}}$$

здесь  $\alpha_{кин}$  – корректив кинетической энергии в сечении на водосбросе, обычно принимаемый равным единице;  
 $\zeta$  – коэффициент сопротивления водосброса. В нашем случае  $\zeta=0,53$ .

На рис. 4 показаны изменения концентрации растворенного кислорода в воде  $r$ , в зависимости от изменения удельного расхода воды  $q$  и высоты водосливов  $H_n$ .

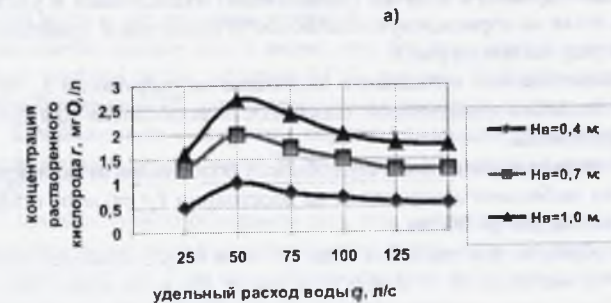




Рис. 4. Зависимости концентрации растворенного кислорода  $r$ , мг  $O_2$ /л от удельного расхода воды  $q$ , л/с и высоты водослива  $H_v$ , м: а) при водосливе с широким порогом; б) при водосливе с тонкой стенкой.

Из графика видно, что значения растворенного кислорода в воде при каждом из высот водосливов до определенного значения расхода воды возрастает, затем резко падает, после чего равномерно убывает. Это свидетельствует о том, что на практике нужно обратить внимание на то, что процессы возрастания, падения и убывание для каждого типа водосливов происходит при разных значениях расхода воды. Для каждого типа водослива существует оптимальный расход воды: для водослива с широким порогом - около 50 л/с; для водослива с тонкой стенкой - около 75 л/с.

При увеличении высоты водослива и постоянном расходе воды возрастает количество захватываемого воздуха и объем зоны аэрации, что способствует к увеличению переносу кислорода. Увеличение расхода воды при постоянной высоте водослива приводит к уменьшению времени пребывания воды в зоне аэрации, то есть уменьшению переноса кислорода.

Сопоставляя эти противоположно действующие факторы, можно оптимизировать ассимилирующую способность воды.

С целью определения влияния изменения значений расстояния между первым (стационарным) и вторым (мобильным) водосливами и удельного расхода воды в лотке на аэрационную способность водосливов проведены опыты и отдельные результаты на рис 5.

При расположении мобильного водослива на расстоянии  $L_p = 4$  м, наблюдается рост значения аэрационной способности водосливов для относительно малых расходах воды.

Рост значения аэрационной способности водосливов активизировался при расположении мобильного водослива на расстоянии  $L_p = 6$  м от стационарного для всех расходов для  $q = 80$  л/с.

Таким образом, для расходов воды  $q = 40$  и  $80$  л/с наиболее оптимальным представляется значение  $L_p$  от 4 до 8 м, а для  $q = 100$  и л/с выше, значение  $L_p$  от 8 до 10 м. При таких значениях  $L_p$  и  $q$  наблюдаются наиболее эффективные значения аэрационной способности водосливов  $\Psi$ .

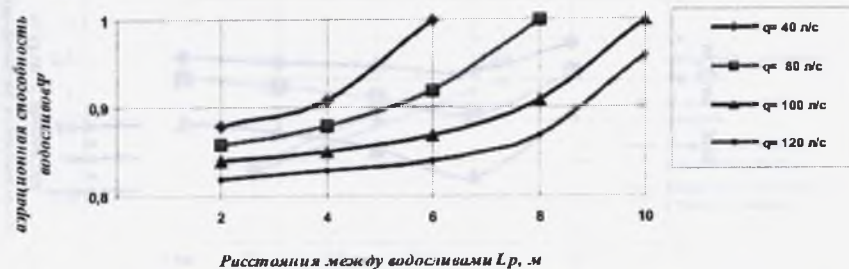


Рис. 5. Влияние расстояния между водосливами  $L_p$  и удельного расхода воды  $q$  на аэрационную способность водосливов  $\Psi$ .

Показатель БПК определялся с помощью зависимости:

$$БПК = \left[ \left( \frac{a_1}{V_1 - q} - \frac{a_2}{V_2 - q} \right) k \times 0,08 \times 1000 - БПК_{рас} \right] \frac{1000}{c} = \left[ 80k \left( \frac{a_1}{V_1 - q} - \frac{a_2}{V_2 - q} \right) - БПК_{рас} \right] \frac{1000}{c}, \quad (11)$$

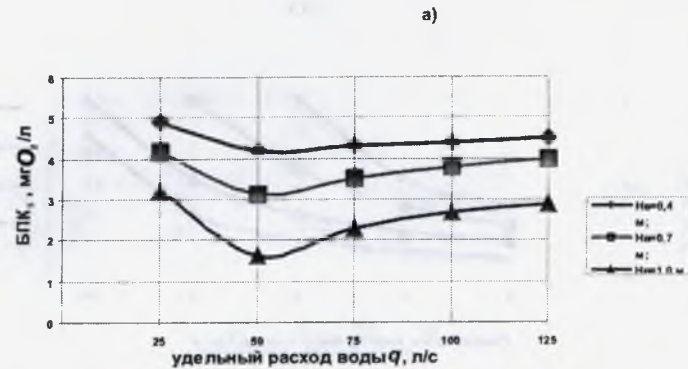
где,  $a_1$  - объем 0,01н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование жидкости при определении содержания в ней кислорода до инкубации, в мл;  
 $a_2$  - то же, после инкубации в течение  $n$  дней в мл;  
 $V_1$  - объем склянки, в которой проводилось определение кислорода до инкубации, в мл;  
 $V_2$  - объем склянки, в которой проводилось определение кислорода после инкубации, в мл;  
 $q$  - объем реактивов (кроме кислоты), прибавляемых в склянку при определении кислорода, в мл;  
 $k$  - поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия к точно 0,01 н.;  
 $c$  - объем сточной воды в мл, взятой для анализа и доведенной затем в мерной колбе до 1 л.

Динамика зависимости  $БПК_5$ , мг  $O_2$ /л от высоты водослива  $H_v$ , м и удельного расхода воды  $q$ , л/с показаны на рис. 6.

Из динамики кривых рис. 6 видно, что при постоянной высоте водослива для каждого расхода воды значения  $БПК_5$  разные. Наблюдается характерное уменьшение значения БПК при определенных расходах воды у обоих типов водосливов. Для водослива с широким порогом уменьшение значения БПК происходит при расходе воды около 50 л/с, а для водослива с тонкой стенкой - около 75 л/с.

Этот процесс можно объяснить тем, что аналогичных расходах и тех же типах водосливов наблюдались повышение концентрации растворенного кислорода в воде (рис. 4). При постоянном расходе воды уменьшение значения БПК происходит с уменьшением высоты водосливов.





б)

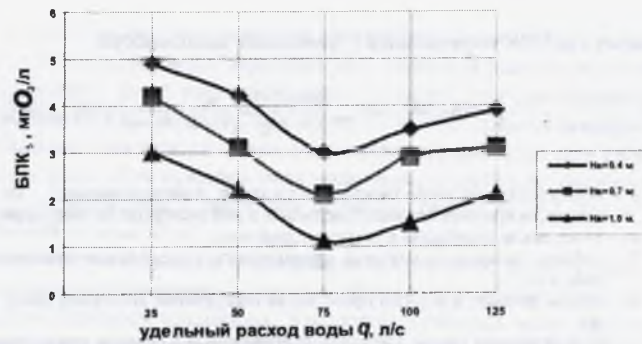


Рис. 6. Зависимости  $BPK_5$  от удельного расхода воды и высоты водослива: а) для водослива с широким порогом; б) для водослива с тонкой стенкой.

При исследовании аэрационных систем был использован объемный коэффициент массопередачи и время контакта фаз на водосливе, т.е. после многочисленных преобразований уравнения массопередачи  $n$ -ступенчатого каскада имело вид:

$$\Psi_n = \exp(-Katn) = [f(z, h_2, q, L_p)]^n, \quad (12)$$

где  $t$  - продолжительность аэрации воды на одной ступени водосливов;

$\Psi_n$  - отношение дефицита кислорода в воде после  $n$ -й ступени водосливов  $D_n$  к дефициту кислорода в воде перед первой ступени  $D_0$ ;

Параметры  $z, h_2, q, L_p$  являются независимыми переменными нами определены экспериментально.

Исследовалась динамика значения концентрации растворенного в воде кислорода в зависимости от высоты водосливов (рис. 7) и удельного расхода воды.

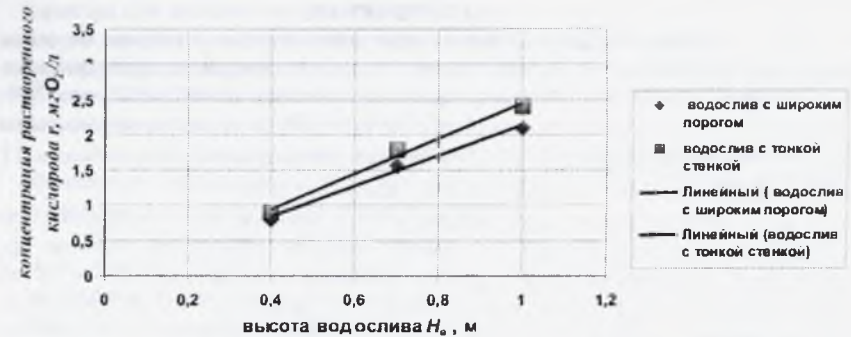


Рис. 7. Зависимость концентрации растворенного кислорода в воде от высоты водосливов

Из рис. 7 видно, что при повышении высоты водосливов увеличивается насыщенность воды кислородом. Эту зависимость можно описать линией первого порядка с углом наклона  $\alpha$ .

**В пятой главе** представлены расчетные данные ущерба причиненного государству загрязнением водных ресурсов и себестоимости строительства водобоев-энергоаэриелей в качестве аэраторов, в виде водобоев с широким порогом и с тонкой стенкой. Рассчитан экономический ущерб причиненный государству загрязнением водных ресурсов КР. Принимая во внимание, что р. Ак-Буура является трансграничным водным объектом, принимались следующие коэффициенты:  $K_1=100$  и  $K_2=3$ , таким образом:  $K_3=300$ . Определялись платы за сбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователю лимиты  $P_{ли} = 113870,76 \text{ сом}$ , за сверхлимитный сброс загрязняющих веществ  $P_{ст} = 569353,8 \text{ сом}$ . Общий ущерб причиненный государству загрязнением водных объектов составлял  $P_{общ} = 683224,76 \text{ сом}$ .

Проведена технико-экономическая оценка водобоев-энергоаэриелей в качестве аэраторов, в виде водосливов с широким порогом и с тонкой стенкой, общая капиталовложение которых составляли, соответственно,  $K_1=506,99$  тыс. сом и  $K_2=1881,72$  тыс. сом. Аэрационные способности (%): 20-45 для водослива с тонкой стенкой, 30-60 для водослива с широким порогом и уровень самоочищающей способности водотока (в %), 15-25 и 20-40 соответственно.

Экономичность аэрирующего устройства оценивается по степени самоочищения водного потока и является экономическим показателем социального характера. Как общий показатель такой экономичности принят срок окупаемости себестоимости строительства аэрирующих установок по соотношению с ущербом причиненного государству загрязнением водных ресурсов КР.



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены физико-географические и геологические условия бассейна реки АкБуура, а также гидрологические и гидрогеологические характеристики реки в черте города Ош. Описаны высотные отметки (от 900-1100 до 3500-свыше 5000 м). Среднегодовой расход р Ак-Буура ориентировочно равна  $21,67 \text{ м}^3/\text{с}$  (в черте города  $5,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Расчетные максимальные расходы воды 0.1 и 1%-ной обеспеченности соответственно равны 465 и  $306 \text{ м}^3/\text{с}$ .

2. Определены количественный и качественный состав воды реки Ак-Буура. В черте города сильно ухудшается качество природной воды по органическим компонентам, как следствие повышается значение БПК (от 1.6 до 10.8), снижается содержание растворенного кислорода (от 9.0 до 4.3), появляется аммиак. Степень жесткости воды р. Ак-Буура изменяется по течению от 4 мг-экв/л до 6,7 мг-экв/л.

3. Установлена динамика изменения растворенного кислорода в составе воды водотока и динамики изменения отдельных компонентов загрязняющих веществ. Содержание растворенного кислорода в воде р. Ак-Буура и значения БПК изменились обратно пропорциональны. Соответственно, регулируя содержание кислорода в воде, можно решить проблему поддержки необходимого уровня санитарного состояния воды.

4. Теоретическими исследованиями основных путей и интенсивности перехода воздуха в воду анализированы факторы интенсификаций массообмена и методы эффективного аэрирования. Изучены виды, параметры и закономерности изменения установившегося аэрированного потока. Установлено, что интенсивность перехода кислорода в воду зависит от ряда факторов, по-разному влияющих на эффективность функционирования аэраторов.

5. Разработана методика расчета количество свободного воздуха проникающая в состав воды за счет турбулизации границ, разделяющих отдельные смешиваемые объемы воды и воздуха за единицы времени в заданных условиях. Количество свободного воздуха проникающая в состав воды в зависимости от внешних и внутренних факторов может изменяться в пределах от 1,6-2,4 мг/л до 4,8-7,2 мг/л.

6. Проведены экспериментальные исследования процесса аэрации и влияние ее на ассимилирующей способности водотока. Выявлена закономерность влияние создание Стоксово течение на целесообразные значения концентрации кислорода (80-85%) при различных условиях протекания водотока и на ассимилирующей способности водотока в целом.

7. Разработана методика расчета гидравлических процессов у водосливов и аэрационной способности водосливов с учетом объемных коэффициентов массопередачи, а также методика выбора целесообразной конструкции аэрирующего устройства создающего подструйную полость за счет энергогасителей-аэраторов, в которой происходит процесс эжекции вследствие понижения давления, для водотоков определенными гидрологическими условиями.

8. Установлены параметры геометрической формы конструкций

аэратора для создания потока абсорбирующего кислорода водой и внедрением массы воздуха в воду одновременно. В зависимости от выбора соотношений геометрических параметров аэраторов, режима течения водного потока и расстояния между водосливами, аэрирующая способность устройства может изменяться в пределах от 20-30% до 50-60%.

9. Предложены технико-методические рекомендации по разработке и применению вариантов конструкций аэрирующего устройства, для водотоков с определенными гидрологическими условиями.

10. Определен экономический ущерб причиненный государству загрязнением водных ресурсов КР. Определена масса сброшенных загрязняющих веществ, согласно которой составляли: фактический сброс загрязняющего вещества  $M_i=1116,38$  тонн/год, лимитный сброс загрязняющего  $i$ -го вещества  $M_{li}=558,19$  тонн/год. Рассчитаны платы: за сбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователем лимиты  $P_{li}=113870,76$  сом, за сверхлимитный сброс загрязняющих веществ  $P_{св}=569353,8$  сом. Общий ущерб составлял  $P_{общ}=683224,76$  сом. Определены Технико-экономические показатели водобоев-энергогасителей в качестве аэраторов, в виде водосливов с широким порогом и с тонкой стенкой, общая капиталовложение которых составляли, соответственно,  $K_1=506,99$  тыс. сом и  $K_2=1881,72$  тыс. сом.

### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Токтогулов Т.С., Жумабаев К.Ж. Исследование влияние Папанского водохранилища на природно-климатические условия г. Ош // Известия ОшТУ. - Выпуск 1., - Ош, 1995. - С. 35-42.
2. Токтогулов Т.С., Кудайбердиев А.М., Баялиев А.Б. Бактериологические исследования воды реки Ак-Буура // Известия ОшТУ. - Ош, 2002. - С. 93-97.
3. Кудайбердиев А.М., Абдурасулов И.А., Токтогулов Т.С. Проблемы улучшения качества поверхностных вод Южного региона Кыргызской Республики // Известия ОшТУ. Ош, 2002, - С. 19-23.
4. Токтогулов Т.С., Кудайбердиев А. Влияние техногенных факторов на уровень грунтовых вод, на примере западного микрорайона города Ош // Известия ОшТУ. - Выпуск 2. - Ош, 2003. - С. 53-60.
5. Абдурасулов И.А., Токтогулов Т.С., Кудайбердиев А.М. Санитарные характеристики реки Ак-Буура // Вестник КАУ. - Выпуск 3. - Бишкек: ОсОО «Басма тамга», 2004. - С. 232-238.
6. Абдурасулов И.А., Токтогулов Т.С., Арзыматов А.К. Поверхностные стоки г. Ош и их влияние на качество воды реки Ак-Буура // Известия ОшТУ. - Выпуск 2. - Ош, 2005. - С. 265-270.
7. Токтогулов Т.С., Кудайбердиев А.М., Абдурасулов И.А. Исследование содержания кислорода и его влияние на санитарное состояние воды р. Ак-Буура // Научно-технический журнал Ферганского политехнического института. - Выпуск 3. Республика Узбекистан. - Фергана, 2007. - С. 44-50.

8. Токтогулов Т.С. Некоторые особенности аэрация воды//Известия КГТУ им. И. Раззакова. -Выпуск 14(2). -Бишкек: ИЦ «Техник», 2008. -С. 131-139.

9. Токтогулов Т.С. Исследование аэрационной способности водосливов// Известия КГТУ им. И. Раззакова. -Выпуск 14(2). -Бишкек: ИЦ «Техник», 2008. -С. 140-147.

10. Токтогулов Т.С. К вопросу анализа ассимилирующей способности воды//Вестник КАУ им. К.И. Скрябина. -Выпуск 1(9). -Бишкек, 2008. -С. 222-226.

11. Токтогулов Т.С., Абдурасулов И.А. Пути снижения загрязненности речных вод аэрацией//Вестник КАУ им. К.И. Скрябина. -Выпуск 1(9).- Бишкек, 2008. -С. 227-233.

12. Токтогулов Т.С. Результаты экспериментальных исследований ассимилирующей способности водного потока// Известия ОшТУ. -Выпуск 2. - Ош, 2008. -С. 29-36.

## КОРТУНДУ

Токтогулов Таалайбек Садыкович

Агын суулардын өзүн-өзү тазалоо жөндөмдүүлүгүн жогорулатуу үчүн тосмо-домбоолдорду пайдалануу (Ак-Буура дарыясынын мисалында)

Техника илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын алуу учун жазылган

05. 23. 04- Суу менен камсыздоо, канализация, суу ресурстарын коргоонун курулуштук системалары

**Ачкыч сөздөр:** аэрация, кычкылтек режими, суунун өзүн-өзү тазалоо жөндөмдүүлүгү, тосмо-домбоолдор, реаэрация, аэрацияланган агым, суу тосмолорунун аэрациялоо жөндөмдүүлүгү.

Диссертациялык иш, ичүүчү суу менен камсыздоо үчүн пайдаланылуучу агын суулардын сапаттык көрсөткүчтөрүн жакшыртуу максатында, суу агымынын жана гидротехникалык курулмалардын мүнөздөмөлөрүнүн табийгый өзгөчөлүктөрүн максатка ылайык айкалыштыруу менен, тосмо-домбоолдорду аэратор катары пайдаланып, агын суулардын өзүн-өзү тазалоо жөндөмдүүлүгүн жогорулатууга арналган.

Берилген шарттарда жана убакыт бирдиги үчүн аралашып жаткан суу менен абанын айрым көлөмдөрүн бөлүп туруучу чекти турбулизациялоонун эсебинен суунун курамына өтүп жаткан эркин абанын санын эсептөөнүн усулу иштелип чыкты. Ар түрдүү шарттарда агын өтүүчү суулардагы кычкылтектин концентрациясына жана жалпы эле агын суунун өзүн-өзү тазалоо жөндөмдүүлүгүнө, Стокстук агымды түзүүнүн тийгизген таасиринин мыйзам ченемдүүлүгү аныкталды. Бир эле убакытта суу менен кычкылтекти абсорбциялоочу жана аба массасын суунун курамына киргизүүчү агымды жаратууга жөндөмдүү болгон аэратордун конструкциясынын геометриялык параметрлери аныкталды.

Айрым гидрологиялык шарттагы агын суулар үчүн, суу басымынын төмөндөөсүнүн натыйжасында эжекция процессин жүргүзүүчү домбоол-аэраторлордун эсебинен суу көндөйчөсүн пайда кылуучу түзүлүштөрдүн максатка ылайык конструкцияларын тандоо илимий негизделди.

*T. Toktogulov*



## РЕЗЮМЕ

Токтогулов Таалайбек Садыкович

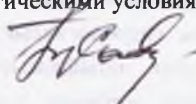
**Использование водоемов-энергогасителей для повышения самоочищающей способности водотоков (на примере реки Ак-Буура)**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук  
05.23.04- Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов

**Ключевые слова:** аэрация, кислородный режим, ассимилирующая способность воды, водобои- энергогасители, реаэрация, аэрированный поток, аэрационная способность водосливов.

Работа посвящена на повышение ассимилирующей способности водотоков с помощью водоемов-энергогасителей (в качестве аэратора) при целесообразных сочетаниях естественных особенностей водного потока и характеристик гидротехнических сооружений, в целях улучшения качественных показателей воды водотоков используемых для питьевого водоснабжения. Разработана методика расчета количества свободного воздуха проникающая в состав воды за счет турбулизации границ, разделяющих отдельные смешиваемые объемы воды и воздуха за единицы времени в заданных условиях. Выявлена закономерность влияние создание Стоксовое течение на целесообразные значения концентрации кислорода при различных условиях протекания водотока и на ассимилирующей способности водотока в целом. Установлены параметры геометрической формы конструкции аэратора для создания потока абсорбирующего кислорода водой и внедрением массы воздуха в воду одновременно.

Научно обоснован выбор целесообразной конструкции аэрирующего устройства создающего подструйную полость за счет энергогасителей-аэраторов, в которой происходит процесс эжекции вследствие понижения давления, для водотоков определенными гидрологическими условиями.



## SUMMARY

Toktogulov Taalaibek Sadykovich.

**The use of water reservoirs for self-cleaning on an example of the river Ak-Buura.**

The dissertation had been written for awarding the competition degree of the candidate of engineering science.  
05.23.04-Water supply, sewerage, the saving building system of water resources.

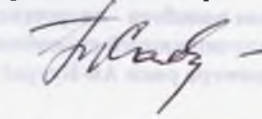
**Key words:** aeration, oxygen mode assimilating self-cleaning ability of water, aerating flow aerating ability of water.

This work is devoted on increase of assimilating ability water flow with the help of the water reservoirs( in quality aerate) at expedient combinations of natural features of a water flow and characteristics of hydraulic engineering structures, with the purpose of improvement of qualitative parameters of water flows used for drinking water supply.

The technique of account quantity of free air penetrating in structure of water for the account tubing of borders dividing separate mixed volumes of water and air for time units in given conditions is developed. The low influence creation stocks current on expedient meanings of concentration of oxygen is revealed under various condition of course water flows and on assimilating ability water flow as a whole.

The parameters of the geometrical form of a design aerator for creation of a flow absorb rating of oxygen by water and introduction of weight of air in water simultaneously are established.

The choice of an expedient design aerator of the device creating of flowing cavity for the account power lowering aerators is scientifically proved, in which there a process abjections owing to downturn of pressure for water fall by the certain hydrological conditions.



**Токтогулов Таалайбек Садыкович**

**Использование водобоев - энергогасителей  
для повышения самоочищающей способности водотоков  
(на примере реки Ак-Буура)**

(Автореферат диссертации)

Тех. редактор **Курманалиев Б.К.**

---

Подписано к печати 23.04.2009 г. Формат бумаги 60x84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 213.  
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ "Текник" КГТУ, т.:54-29-43  
E-mail: beknur@mail.ru