

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

на правах рукописи

Парияр Чет Бахадур

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД НЕПАЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЧИСТКИ  
ВОДЫ ОТ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА И АММОНИЯ**

Специальность 05.23.04 - "Водоснабжение и канализация"

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков - 1997



00751002 (F)

Работа выполнена в Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, Шеренков И. А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор, Пантелят Г. С.  
- кандидат технических наук, доцент, Ткачѐв В. А.


Ведущая организация - Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем "УкрНИИЭП" (г. Харьков).

Защита состоится "18" сентября 1997 г. в 11<sup>00</sup> ч. на заседании специализированного Совета Д.02.07.01 при Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры по адресу: Харьков 310002, Сумская, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры.

Автореферат разослан "12" авг. 1997 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета  
кандидат технических наук, доцент

 Н.И. Колотило

### Актуальность проблемы.

Снабжение населения Непала чистой питьевой водой представляет серьезную проблему ввиду резкого ухудшения качества воды (КВ) поверхностных водных источников за счет естественных (ЕФ) и антропогенных факторов (АПФ) и низкого качества подземных вод.

За счет нерационального земледелия и вырубки лесов заметно усиливаются эрозионные процессы в горных районах в период муссона, в результате чего увеличивается нагрузка на водные объекты наносами, увеличивается мутность воды и ухудшается ее качество. Каждый год относительно большие реки уносят плодородную землю, затопливают угодья и наносят большой экономический ущерб. Ухудшение экологической ситуации в Непале привлекает внимание многих организаций, даже международных.

Малые реки долины Катманду и реки, протекающие через городские территории и густонаселенные пункты Тераи, сильно загрязнены сточными водами, что затрудняет их использование для питьевых целей.

Подземные воды долины Катманду и Тераи характеризуются повышенной концентрацией железа, марганца и аммония. В основных городах система очистки воды включает отстаивание, фильтрование и хлорирование. Однако на практике очистные сооружения работают неэффективно или вообще не функционируют. Вывешенные и нерастворимые вещества могут быть удалены механической очисткой указанными методами, а растворенные вещества без эффективных физико-химических, биохимических или комбинированных методов и устройств не могут быть удалены.

Все это приводит к тому, что вода в относительно больших городах подается с перебоями и не питьевого качества, а население в сельской местности, составляющее 80 %, вынуждено употреблять неочищенную воду.

При решении проблемы водообеспечения приходится сталкиваться с тем, что многие водные объекты страны практически не изучены с точки зрения их использования для водоснабжения. Поэтому проблемы водообеспечения невозможно решить без детального изучения природных вод (ПВ) их комплексной оценки, без разработки простых, эффективных и экономичных методов очистки воды и рекомендаций по водоподготовке. А также решение главных социально-бытовых, водохозяйственных, энергетических, экономических и экологических проблем невозможно без научного обоснования закономерности изменения качества, количества воды и рационального использования водных ресурсов.

Все это многообразие указывает на возрастающую актуальность проблемы оценки КПВ Непала, очистки воды от вредных для здоровья примесей, охраны водных ресурсов от загрязнения с целью улучшения КПВ.

**Цели и задачи** исследования. **Целями** диссертационной работы являются:

- теоретические и экспериментальные исследования состава и свойств ПВ Непала для оценки их качества и разработки классификации;
- исследование закономерностей изменения КПВ выбранных водных объектов в естественных условиях и условиях техногенеза Непала и требуемой степени очистки ПВ на разработанной водоочистной установке;
- разработка эффективных методов очистки воды от вредных примесей;
- разработка рекомендаций по внедрению предлагаемых методов и установок для очистки воды и улучшения (сохранения) КПВ речных бассейнов.

**Задачи** исследований.

1. Сбор исходных (физических показателей (ФП), химических (ХП), бактериологических (БП) качества воды и гидрометеорологических (ГМ)) данных для качественно-количественной оценки и классификации ПВ Непала и анализ ЕФ: физико-географических (ФГФ), гидрогеологических (ГГФ), физико-химических (ФХ), биологических (БФ) и АПФ для установления влияния на состав и КПВ Непала с целью водоохраны.

2. Натурное (визуальное) наблюдение санитарного состояния основных городов, густонаселенных пунктов, источников водоснабжения (эксплуатируемых и перспективных) и загрязнения водных объектов (место выпусков бытовых и производственных сточных вод); выбор водных объектов р.Сети, оз.Феба, Бегнас, Рупа и анализ ФП, ХП, БП воды.

3. Оценка КПВ и разработка систем классификации ПВ Непала по химсоставу и степени загрязнения на основе комплексного изучения.

4. Теоретические и экспериментальные исследования кинетики процессов окисления (КПО)  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  на моделях многокомпонентных систем (МКС)  $H_2O-Fe^{2+}-Mn^{2+}-O_2$ ,  $H_2O-Fe^{3+}/Fe^{2+}-O_2$ ,  $H_2O-Fe^{2+}-Mn^{2+}-O_2$ ,  $H_2O-Fe^{2+}-HCO_3^- -O_2$ ,  $H_2O-Fe^{2+}-NH_4^+ -O_2$  и процессов, приводящих к равновесию систем и исследование влияния концентраций ионов:  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$  и  $t$  на pH, Eh,  $O_2$  и др. в МКС в статических условиях.

5. Разработка эффективных методов (установок) очистки ПВ от Fe, Mn,  $NH_4^+$  и исследование эффективности процессов их очистки.

6. Математическое моделирование КПО  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , процессов очистки воды и исследование влияния основных физико-химических (ФХ), термодинамических (ТД) и гидродинамических (ГД) факторов на степень очистки (Э) ПВ от соединений Fe, Mn и  $NH_4^+$  в технологической системе.

7. Анализ и оценка технико-экономической эффективности предлагаемых установок для очистки воды от указанных примесей.

8. Разработка рекомендаций по внедрению водоочистных установок и мероприятий по улучшению (сохранению) КПВ Непала.

### Научная новизна

- систематическая и комплексная оценка состава, свойств воды реальных водных объектов Непала и МБР в статических и динамических условиях;
- предложена региональная оценка КПВ Непала;
- разработаны системы классификации ПВ по химическому составу и по степени загрязнения (с учетом основных факторов);
- разработана схема факторов, влияющих на состав и качество ПВ Непала и установление закономерности изменения КПВ по сезонам, створам рек (Сети, Багмати) под влиянием основных факторов (ЕФ, АПФ);
- разработаны эмпирические модели для рН, Еh и ЭДС, описывающие процессы в рассматриваемых системах в статических условиях;
- экспериментально выявлены и установлены зависимости рН, Еh, ЭДС,  $O_2$ , окисляемости воды от концентрации ионов, температуры и времени;
- исследованы и разработаны две новые установки для очистки воды от соединений Fe, Mn и  $NH_4^+$ , включающие перекрестноточный аэратор, отстойник и фильтр на которые получен патент РФ;
- разработаны математические модели КПО железа (II), марганца (II) и процессов очистки воды, позволяющие решать задачи проектирования, управления технологическими процессами и контроля КВ;
- предложенные модели позволяют установить эффективность влияния основных ФХ, ГД и ТД факторов на степень очистки воды Э% от указанных токсичных примесей;
- даны рекомендации по внедрению технологии очистки ПВ от железа, марганца и аммония и по улучшению (сохранению) КВ речных бассейнов.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что предложенные установки специальной конструкции нового типа для очистки ПВ от железа, марганца и аммония могут быть внедрены в производство, как эффективные, энергосберегающие и конкурентно-способные.

Предложенные оценка КПВ Непала и системы классификации можно использовать для выбора источников, их охраны и методов обработки воды для питьевого водоснабжения и других целей, а математические модели, описывающие процессы в МКС - управления технологическими процессами, контроля КВ и прогнозирования изменения КПВ речных бассейнов.

При решении прикладных задач, могут быть использованы результаты (схемы, диаграммы, формулы, зависимости) и выводы, данной работы и представляют практический интерес водопотребителей и водопользователей (Департамент и Корпорация водоснабжения, канализации, охраны природы (водных ресурсов), научные и производственные организации).

**На защиту выносятся следующие научные положения:**

- количественно-качественная оценка ПВ Непала с учетом факторов;
- системы классификации ПВ по химсоставу и по степени загрязнения;
- математические модели равновесия МКС, процесса окисления  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и процессов очистки воды от указанных веществ;
- рекомендации по внедрению предложенных методов и установок для очистки воды от железа, марганца, аммония, взвесей, растворенных газов, бактерий и др. (технология очистки воды) для водоснабжения и методика расчета конструктивных элементов водоочистных установок;
- рекомендации по улучшению (сохранению) КПВ речных бассейнов Непала.

**Публикация.** Основные материалы диссертации опубликованы: 10 научных работ из них 3 статьи и патент РФ.

**Апробация работы.** Основные положения настоящей диссертационной работы были доложены на 47-52-й научно-технических конференциях "Повышения эффективности строительства" ХТУСА (Харьков 1992-1997 гг.).

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и заключения, списка использованной литературы из 318 наименований и приложения. Диссертация включает 377 страниц из них 158 машинописного текста и текстовая часть иллюстрируется таблицами-77 и рисунками-125, приложениями-31 стр. и списками литературы-22 стр.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении охарактеризовано современное состояние водохозяйственных проблем Непала, сформулированы цели и задачи исследований, показаны их актуальность, научная новизна и практическая ценность.

В **первой главе** рассматривается количественно-качественная характеристика ПВ и приводится аналитический обзор современного состояния (изученность) водных ресурсов Непала. В работах Т.В.Махата, К.В. Малла, И.Н. Манандхара, Н.П. Кханала, К.К. Панде, Б.К. Упрети, П. Лабона, Д.О. Нельсона, В.П. Субраманьяма, Д. Стоклина и В.Срабела рассмотрены только эрозионные процессы в горных районах Непала.

В работах Р.К. Панде, Ч.К. Шарма, Д. Альфорда рассмотрены вопросы географического районирования и дренирования основных рек Непала.

Японской проектной организацией (JICA) сделано поисковое исследование водоисточников долины Катманду. Б.К. Шрестха и Андрея Ботино с сотрудниками была изучена экологическая ситуация р.Вагмати. Многие водные объекты вообще не изучены и не имеется оценка КПВ Непала.

Автором разработана схема круговорота воды на территории Непала.

На основе комплексного изучения водных ресурсов страны, разработана систематизированная схема факторов, влияющих на формирование сос-

тава и КПВ Непала. В этой схеме отражены ЕФ: ФГФ, ГГФ, ФХФ, ВФ и АПФ. По генезису, характеру и сфере влияния указанные факторы могут быть общими и частными, ведущими и второстепенными, прямыми и косвенными и они имеют локальный и континентальный характер.

Для получения реальной картины о КПВ, изучены основные процессы формирования состава (минерализации) и свойство ПВ под влиянием разнообразных факторов. К таким процессам относятся: растворение, выщелачивание, выветривание, гидратация, окисление, восстановление, гидролиз, осадкообразование, ионный обмен, миграция химических элементов и др.

Во **второй главе** предложены методы оценок качества и классификации ПВ Непала с применением системного подхода. ПВ является сложной МКС, которая взаимодействует по схеме В.И. Вернадского "вода-порода-газ-живые организмы-человек".

В сложную систему, (например, бассейнов рек) разными путями попадают в водные объекты нерастворенные твердые и взвешенные (ВВ) в виде коллоидов, суспензий, эмульсий и растворенные вещества (РВ) как неорганического так и органического происхождения в виде ионов, молекул и микроорганизмы с водосбора под влиянием разнообразных ЕФ и АПФ в процессе круговорота при составлении материальных и тепловых балансов (между атмосферой, гидросферой и литосферой (биосферой) постоянно происходит взаимодействие, обмен энергией и веществом). ПВ сложные, неустойчивые системы, содержащие ВВ, РВ, газы, живые и микроорганизмы, гидробионты и водные растения. При протекании различных процессов нерастворенные соединения, продукты реакции и биомассы выпадают в осадок. Таким образом формируется состав и КПВ и функционирует водная экосистема в определенных ФХ, ФГ, ГГ условиях.

Для изучения сложные МКС автором выделены границы и выбраны элементы системы. При этом, МКС разбивались на подсистемы. Входные (С<sub>0</sub>, Q и т.д.) и выходные (С, Q) параметры разделены на управляемые (С<sub>1</sub>, t, Q) и неуправляемые (наблюдаемые рН, Eh, O<sub>2</sub>, Э, окисляемость). Выходные параметры системы должны удовлетворять требованиям водопотребителей.

В качестве объектов исследования, выбирались водные объекты р.Сети, озера Феба, Вегнас, Рупа, характерные для долины Похара и р.Вагмати и ее притоки, подземные источники долины Катманду, а также МВР, для изучения закономерностей изменения состава и свойств воды.

При анализе ПВ выбранных объектов, применены методы: титриметрический, потенциометрический, фотоколориметрический, спектрофотометрический и атомноабсорбционный. Отбор проб воды, транспортирования, хранения и их анализа осуществлены в соответствии с унифицированными методами.

Для оценки КПВ был сделан полный анализ физических ( $t$ , цвет, запах, мутность, ВВ), химических (рН, Eh, ЭДС,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $SiO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $\mathcal{J}_{обш}$ ,  $\mathcal{J}$ , окисляемость, ЭП, РВ или сухой остаток, БПК<sub>5</sub>, ХПК) и БП качества воды.

Выбранными значимыми показателями КВ с учетом их изменчивости являются: физико-химические (ФХП) главные ионы-катионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , анионы- $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $SiO_3^{2-}$ ; микроэлементы  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ; биогенные элементы  $PO_4^{3-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ; газы ( $O_2$ ,  $CO_2$ ); а также  $t^0$ , рН, Eh, ЭДС, ЭП, БПК<sub>5</sub>, ХПК, окисляемость,  $\mathcal{J}_{обш}$ ,  $\mathcal{J}$ , РВ, ВВ и БП воды. С их помощью можно судить о направлении протекания процессов, о тенденции изменения КВ и его прогнозирования с течением времени.

В данной главе проанализированы существующие нормативные документы (КНД.211.1.4.010-94), стандарты (ВОЗ, СЭВ, ГОСТ, ЕРА), экологические, гигиенические, экономические критерия оценки КВ. Нами использован дифференцированный критерий оценки КВ в соответствие с нормативными документами, сущность которого состоит в сравнении отдельных контролируемых параметров с нормативами для комплексной оценки КПВ по ФП, ХП и БП с учетом пригодности воды для питьевого водоснабжения.

ВОЗ изданы "Европейские и Международный стандарт (нормы) питьевой воды". В СНГ КВ воды хозяйственно-питьевого назначения регламентируется ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая". В Непале широкое применение получил ВОЗ по сравнению с европейскими и азиатскими стандартами.

Основными требованиями, предъявляемыми к питьевой воде, являются безопасность её в бактериологическом (эпидемиологическом) отношении, безвредность химического состава, благоприятные органолептические свойства и пригодность для хозяйственно-бытовых нужд.

На основе комплексного изучения водных ресурсов Непала, влияющих ЕФ (ФГФ, ГГФ, ВФ и ФХФ) и АПФ на КПВ, анализа литературных и экспериментальных ФП, ХП, БП и многолетних ГМ данных, натурального исследования санитарного состояния основных городов и густонаселенных пунктов, экологической ситуации водных объектов (функционирования водной экосистемы), источников загрязнений, источников водоснабжения, перспективы их использования, методов очистки воды, закономерности изменения КВ выбранных реальных и модельных водных объектов в статических и динамических условиях, автором дана количественно-качественная оценка ПВ, оценка антропогенного влияния на КВ и разработаны системы классификации ПВ Непала по химическому составу и степени загрязнения.

Определено неизвестное значение испарения Z с речного бассейна р.Сети с использованием данных количества, выпадающих атмосферных

осадков  $X=4175$  мм/год, расхода воды речного стока  $Y=52,3$  м<sup>3</sup>/с или 1556 мм и площади водосбора басс. реки  $F=1080$  км<sup>2</sup>.

$$Z = X - Y = 2619 \text{ мм/год}; \quad (1)$$

Запас возобновляемых речных вод оценивался примерно 5000 м<sup>3</sup>/с.

Запас пресных вод в льде или снеге в Гималаях оценивался по формуле:

$$h_B - ah_L \rho_L / \rho_B = 22 \text{ км}^3. \quad (2)$$

По pH оценка КПВ Непала следующая: поверхностные воды рек-слабощелочные, pH=7,5; поверхностные воды озер- близки к нейтральным, pH=6,9-7,2; подаемные воды долины- слабокислые, pH=6,5; подаемные воды района Тераи- щелочные, pH=8,5.

По pH-Eh диаграмме состояния равновесия МКС, оценены формы существования железа (рис.1) и марганца (рис.2) в воде.

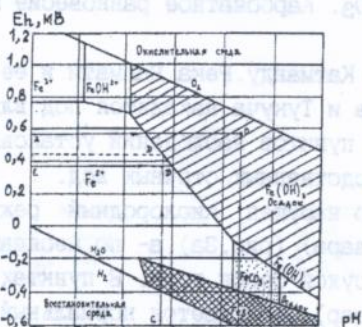


Рисунок 1 - Состояние равновесия системы "железо-вода" в координатах Eh-pH (диаграмма Пурбе, применительно для железосодержащих вод Непала).

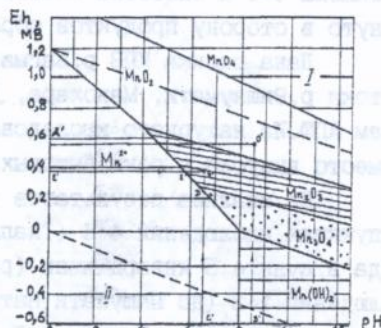


Рисунок 2 - Состояние равновесия системы "марганец-вода" в координатах Eh-pH (диаграмма Пурбе, применительно для марганцесодержащих вод Непала).

На основе  $Eh > 100$  мВ (в наших случаях  $Eh > 300$  мВ) и поля устойчивости оксидов, гидрооксидов железа и марганца, выбраны методы очистки ПВ. АОВСДЕА и А'О'В'С'Д'Е'А' - область экспериментальных данных.

КВ р.Сети оценено с помощью бар-диаграммы гипотетической комбинации, построенной с использованием экспериментальных данных по главным катионам и анионам в мг-экв/л. Содержание микрокомпонентов незначительно. Преобладающим катионом и анионом соответственно являются  $[Ca^{2+}] = 46$  мг/л и  $[HCO_3^-] = 131$  мг/л. Согласно диаграмме вода данного источника относится к гидрокарбонат-кальциевому  $Ca(HCO_3)_2$  классу. Она служит также мерой правильности проведенных анализов воды, достоверности полученных результатов, о чем говорит равенство суммы эквивалентов катионов и анионов (закон электронейтральности).

Автором модифицирована известная формула Курловой (Н.Ю. Соколова) применительно к р.Сети.



те 5 в течение года, а фосфор увеличивается в пунктах 3-7.

Для разработки систем классификации ПВ Непала, проанализированы существующие и в качестве исходных нами взяты: О.А. Алекина, СЭВ, Л.А. Кульского, Ч.Д. Ли, JICA, А.К. Висваса и КНД.211.1.4.010-94.

С использованием данных состава воды по основным катионам ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) и анионам ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) в %, выбранных водных объектов построена треугольная диаграмма (рис.4) на основе которой классифицированы ПВ Непала по химическому составу. По преобладающим катионам и анионам, ПВ классифицированы следующим образом: (I) гидрокарбонат-кальциевые воды  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ); (II) гидрокарбонат-натриевые  $\text{NaHCO}_3$ ; (III) сульфат-кальциевые и хлорид-кальциевые воды  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ; (IV) сульфат-натриевые и хлорид-натриевые воды  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ .

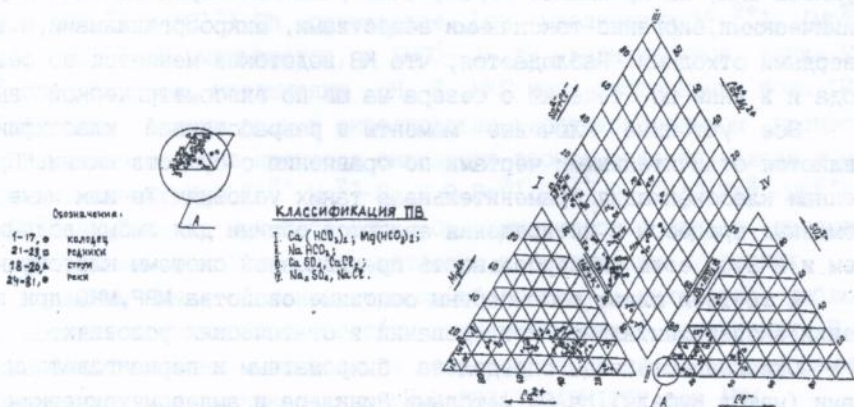


Рисунок 4 - Треугольная диаграмма химического состава природных вод Непала по классификации

С целью использования поверхностных вод для водоснабжения дана классификация ПВ по степени загрязнения. В основе предложенной классификации лежит эколого-санитарная классификация ПВ по ФГР, климатическим условиям и физико-химическим и гидрогеологическим обстановкам.

Основными критериями данной классификации являются пределы (диапазон) изменения концентрации отдельных или нескольких показателей КВ под влиянием разнообразных факторов, превышающие нормы питьевой воды с учетом пригодности водопользования. С ростом концентраций веществ соответственно ухудшается КВ, а номер класса растет.

Классификация включает 6 классов воды:

1. вода очень чистая; 2. вода чистая; 3. вода незаметно загрязненная;
4. вода незначительно загрязненная; 5. вода (сильно) загрязненная и
6. вода очень загрязненная (грязная).

КВ классов 1 и 2 относятся к рекомендуемым (I), 3 и 4-приемлемым (II), 5-допустимым при особых методах обработки (без тяжелых токсичных металлов, органических соединений, ядовитых газов) и 6-недопустимым (при наличии указанных веществ в кл.5) для водоснабжения.

В классификации отражены ЕФ (климатические -сухой (А) и влажный (В) периоды года, ФХФ, ГГФ, ВФ) и АПФ, минерализации М, характерные особенности воды по ФГР, источникам загрязнения воды, показатели КВ, превышающие нормы для питьевой воды, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные состояния (равновесия) по отношению водной экосистемы от загрязняющих веществ и методы обработки ПВ Непала.

Воды горных рек загрязняются во время муссона грубодисперсными примесями, на участках непромышленных малых городов и населенных пунктов ФХП, БП превышают нормы, а на участках промышленных городов химическими, биогенно-токсичными веществами, микроорганизмами, а также твердыми отходами. Наблюдается, что КВ водотоков меняется по сезонам года и в вниз по течению с севера на юг по гипсометрической высоте.

Все учтенные ключевые моменты в разработанной классификации являются отличительными чертами по сравнению с существующими. Предложенная классификация применительна в таких условиях. Те или иные водообменные процессы и превращения являются общими для любых водных систем и в этом есть универсальность предложенной системы классификации.

В **третьей главе** рассмотрены основные свойства МВР, МКС при проведении экспериментальных исследований в статических условиях.

Окисляемость воды определена бихроматным и перманганатным методами (метод Кубеля), а  $O_2$ -методами Винклера и амперометрическим и железа-спектрофотометрическим и фотоколориметрическим методами.

Для изучения основных свойств в МВР и процессов, протекающих в них, в качестве функции отклика выбирались показатели рН, Eh, ЭДС,  $O_2$  и окисляемость, а ионы солей принимались как элементы МКС.

Были приготовлены МВР, МКС и подсистем для проведения экспериментов при варьировании концентрации: Feобщ 0- 4,0 мг/л; соотношение  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ , марганца 0- 1,0 мг/л; аммония 0-10 мг/л; гидрокарбоната 0-200 мг/л; хлорида 0- 69 мг/л. Контролирующим показателем системы является рН и расхождение его реальных ПВ р.Сети и МВР не превышает 1-2 %, что позволяет наблюдать целенаправленные процессы на МВР.

При приготовлении МВР, были использованы хорошо растворимые соли железа ( $FeSO_4$ ,  $FeSO_4 \cdot H_2O$ ,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ), марганца ( $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ ), аммония ( $NH_4Cl$ ), кальция ( $CaCl_2$ ), магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), натрия ( $NaHCO_3$ ,  $Na_2SiO_3$ ,  $NaHPO_4$ ), калия (KCl) и дистиллированная вода.

Показатели  $t$ ,  $pH$ ,  $Eh$  и ЭДС определены потенциометрическим методом  $pH$ -метром ( $pH-150$ ) с использованием ионоселективных электродов (ЭПЛ-02, ЭСП-15-11, ЭВЛ-1М4) и термокомпенсатора.

Для изучения влияния температуры на состав,  $KB$  через её свойства  $pH$  и  $Eh$  МБР, МКС была варьирована температура МБР  $0-35$  °C с учётом изменения температуры воды и воздуха бассейна р. Сети.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при повышении  $t$ ,  $0-20$  °C величины  $pH$  и  $Eh$  увеличиваются 7,63-8,12 и 426-438 мВ соответственно.  $pH$  МБР незаметно продолжает расти по линейному закону, а значения  $Eh$  распределены параболически.

Автором установлено, что при увеличении  $[O_2]$ ,  $[Fe^{3+}]$  в системе значения  $Eh$  возрастают, а  $[Fe^{2+}]$ ,  $[Mn^{2+}]$   $Eh$  в МКС понижается. С повышением  $[NH_4^+]$  и  $[Cl^-]$   $Eh$  понижается. При увеличении  $[Fe^{2+}]$ ,  $[Mn^{2+}]$ ,  $[NH_4^+]$ ,  $[Cl^-]$   $pH$  уменьшается, а  $[HCO_3^-]$   $pH$  увеличивается, также  $Na^+$  и  $K^+$  способствуют увеличению  $pH$ . В МКС ионы диссоциации воды  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$  играют важную роль в окислительно-восстановительном процессе.

Изучена кинетика процесса окисления-восстановления железа и марганца в системах:  $H_2O-Fe^{2+}-Mn^{2+}-O_2$ ,  $H_2O-Fe^{3+}/Fe^{2+}-O_2$ ,  $H_2O-Fe^{2+}-Mn^{2+}-O_2$ ,  $H_2O-Fe^{2+}-NH_4^+-O_2$  и  $H_2O-Fe^{2+}-HCO_3^- -O_2$ . Кинетические кривые показывают, что процесс окисления идет медленно в статических условиях.

В данной главе описана методика обработки результатов наблюдений, которая производилась методом математической статистики. В ее основу была положена методология регрессионного анализа, программно реализованная в виде пакет программ "STATGRAPHICS" для IBM.

Получены следующие наилучшие эмпирические модели для  $pH$ ,  $Eh$ , ЭДС:

$$pH = 6,4020 - 0,7606 [Fe^{3+}] + 0,01085 [HCO_3^-] + 0,0405 [K^+] \quad (3)$$

$$Eh = 460,2 + 16,1 [Fe^{2+}] + 26,7 [Fe^{3+}] - 42,7 [Mn^{2+}] - 0,3 [HCO_3^-] - 0,4 [Cl^-] \quad (4)$$

$$ЭДС = -208,62 + 33,74 [Fe^{2+}] + 38,40 [Fe^{3+}] - 0,57 [HCO_3^-] - 0,57 [Cl^-] \quad (5)$$

Гипотеза об адекватности моделей проверялись критерием Фишера при наличии результатов параллельных опытов.

$$F = S^2_{OY} / S^2_{вос. Y} \quad (6)$$

Значимость этого отношения проверялась с помощью уровней значимости  $\alpha$ . Нулевая гипотеза  $H_0$  не отклоняется если  $\alpha > \alpha_{к}$ , в случае если  $\alpha < \alpha_{к}$  (0,05 или 5%) то гипотеза об адекватности отклоняется.

Используя экспериментальные данные таблиц, полученные при проведении параллельных опытов  $S_{вос. Y}$  рассчитано по формуле:

$$S_{вос. Y} = (\sum f_i S_i^2 / \sum f_i)^{0,5} \quad (7)$$

где  $f_i$  - число степени свободы.

$$S_{OY}(pH) = 0,20;$$

$$S_{OY}(Eh) = 12,04;$$

$$S_{OY}(ЭДС) = 18,00.$$

Определим критерий Фишера по формуле (6):

$F(pH) = 1,3$ ;  $F(Eh) = 1,07$ ;  $F(ЭДС) = 0,90$ .

По табличным данным от числа степени свободы полученных моделей и критерий Фишера, находим уровни значимости  $\alpha$ :

$\alpha(pH) = 0,3$ ;  $\alpha(Eh) = 0,5$ ;  $\alpha(ЭДС) > 0,5$ .

Поскольку все значения уровней значимости больше  $\alpha_k(0,05)$ , то гипотеза об адекватности моделей не отклонена.

В четвертой главе даны оценки существующих методов очистки ПВ от железа, марганца, аммония, проведены теоретические и экспериментальные исследования для разработки эффективных методов для питьевого водоснабжения и изложены результаты разработанных установок.

Большой вклад в решение проблем по водоподготовке внесли ученые СНГ И.Э. Апельцин, В.А. Клячко, Л.А. Кульский, Г.И. Николадзе, А.Н. Перлина, К.А. Мамонтов, П.В. Корыстина, Я.Н. Шварте, Г.Ю. Асо, В.И. Станклявичус и Г.Г. Руденко и ученые запада и Азии Г.И. Джаста, И. Холлота, В. Колле, В. Штумм, Г.Ли, М.Д. Хаммера, В.П. Кудесия и др.

По Г.И. Николадзе все методы очистки ПВ от железа (марганца) делятся на безреагентные и реагентные.

По мнению автора среди известных безреагентных методов очистки подземных вод от железа перспективным является вакуумно-эжекционным. Однако, у них сложная конструкция, а метод-дорогой.

Обычно марганец удаляется одновременно с железом, поскольку в ПВ  $Mn_{общ}$  находится вместе с ним, составляя меньше половины  $Fe_{общ}$ . Методы деманганации можно выделить на окислительные, сорбционные, ионообменные, комбинированные и биохимические.

Реагентные методы по отношению к нереагентным более дорогие. При их использовании возникают дополнительные проблемы по водоподготовке.

Эффективность естественной аэрации очень низка поэтому необходима искусственная аэрация воды. В специально созданных системах аэрирования, создается развитая поверхность межфазового контакта и соответственно интенсификации процессов массообмена, путем диспергирования воздуха в воде. Среди известных способов аэрирования можно отметить: барботаж, разбрызгивание, каскадный, пенный и смешанный.

В зависимости от способа подачи воздуха аэраторы классифицируются на механические, пневматические напорные, пневматические вакуумно-эжекционные, струйные и комбинированные (механико-пневматические).

Проанализированы известные методы удаления азотсодержащих  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$  веществ (нитрификация, денитрификация, обдувка аммиака; ионный обмен; гиперфльтрация и др.). А.Ю. Шагинов предложил внутрислас-

товую очистку подаваемых вод от  $\text{NH}_4^+$ .

Все существующие методы за счёт низкой эффективности, конструктивной сложности, дороговизны далеко не всегда возможно использовать в условиях Непала. Поэтому возникали вопросы каким образом осуществить аэрирование воды, какой источник кислорода, какие конструктивные элементы аэратора, их аппаратурное оформление и компоновки. В связи с этим автору необходим был поиск нового усовершенного, более эффективного, простого, экономичного (энергоберегающего) метода очистки воды для решения водохозяйственных проблем страны.

Из анализов известных методов очистки воды от указанных веществ можно сделать вывод, что по технико-экономическим показателям, при отсутствии компрессора и если рельеф местности позволяет без насоса (самотечный режим), перепадные, быстротечные, эжекторные аэрационные установки имели бы преимущества по сравнению с другими.

С учётом многообразия решений, приёмов, способов и устройств, формы железа и концентрации удаляемых веществ, генезиса этих компонентов, состава воды и основных факторов, влияющих на них в условиях Непала, требуемой степени очистки, технико-экономических показателей, исследованы и разработаны установки для очистки воды от Fe, Mn,  $\text{NH}_4^+$  и др.

Для выбора метода проводились теоретические и экспериментальные исследования с целью изучения поведения Fe, Mn, устойчивость, состояния равновесия ( $E_h > 100 \text{ мВ}$ ) в различных МКС, в статических и динамических условиях. При этом изучались ФХ, ТД и ГД факторы и основные процессы, протекающие в системах.

Экспериментальная установка является специально сконструированным производственно-промышленным образцом, защищенным авторскими свидетельствами, которая включает всасывающий и напорный трубопровод, задвижки, насос типа 6 КМ, обратный клапан, аэратор, отводящий канал с регуляторами и бак. Основным элементом установки является аэратор, а важными элементами аэратора являются щели между пластинами б.

Были проведены серии опытов, связанные с железом, при концентрации 1,95; 2,70; 2,95 и 6,6; с марганцем 5,01 и аммонием 5,0 мг/л.

МБР с заданной концентрацией, подавался насосом из нижнего резервуара в аэратор. При движении воды по лотку с оптимальным уклоном  $i=0,4$  обеспечивается бурное течение воды, в котором при протекании уступов со щелями, образуются вакуумные зоны, в результате чего происходит подсос воздуха в поток воды и быстро насыщается кислородом до предельной концентрации. Конструкция аэратора позволяет получить диспергированную водовоздушную смесь по всей глубине и длине аэратора.

При аэрировании потока воды с известными концентрациями очищаемых веществ, варьировались поочередно: продолжительность аэрирования  $\tau_a$  (1-25 мин.); продолжительность отстаивания  $\tau_{от}$  (30, 60 мин, 1, 2 сут); расход воды  $Q$  (20-40 л/с); длина аэратора  $L$  (0-15 м); количество повторных циклов  $n$  (0, 1-3), формы железа ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  и  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) и т.д.

Для изучения процессов очистки ПВ от Fe, Mn,  $NH_4^+$  выбраны показатели воды:  $t^0$ , pH, Eh, ЭДС,  $O_2$ , окисляемость, расход  $Q$ , скорость потока воды  $V$ ,  $\tau_a$  и  $\tau_{от}$ ,  $n$  и концентрации удаляемых  $C_1$  веществ.

Основными процессами, протекающими в технологической системе являются массопередачи, диффузия, растворение, абсорбция, десорбция, окисление, восстановление, гидролиз, осадкообразование и другие.

При проведении экспериментальных исследований на водоочистной установке, были получены следующие результаты в виде степеней очистки для железа ( $\Xi_1$ ), марганца ( $\Xi_2$ ) и аммония ( $\Xi_3$ ):

$$\Xi_1 - 65,64\% \text{ при } C_{Fe} - 1,95 \text{ мг/л}; \quad \Xi_1 - 91,58\% \text{ при } C_{Fe} - 2,97 \text{ мг/л};$$

$$\Xi_1 - 98,48\% \text{ при } C_{Fe} - 6,60 \text{ мг/л};$$

$$\Xi_2 - 36\% \text{ при } C_{Mn} - 5,01 \text{ мг/л}; \quad \Xi_3 - 32,2\% \text{ при } C_{NH_4^+} - 5,0 \text{ мг/л}.$$

Степень очистки  $\Xi$  определялась по формуле:

$$\Xi\% = (C_0 - C) / C_0 \cdot 100 \quad (8)$$

Обработка результатов наблюдений производилась математической статистикой регрессионным анализом на ЭВМ и получены математические модели, описывающие процессы очистки воды от примесей.

Наилучшая эмпирическая модель для  $\Xi_1$  имеет вид:

$$\Xi_1 = 0,77750 - 0,03733 \cdot t + 0,000189 \cdot \text{Окл.} + 0,1932 \cdot n \quad (9)$$

При включении фактора  $\tau_a$  и  $\tau_{от}$  получена следующая модель:

$$\Xi_1 = -0,002756 + 0,06765 \cdot \tau_a + 0,00023 \cdot \tau_{от} \quad (10)$$

Наилучшая эмпирическая модель для  $\Xi_2$  имеет вид:

$$\Xi_2 = -0,02824 + 0,02141 \cdot \text{Окл.} + 0,01181 \cdot \tau_a + 0,000085 \cdot \tau_{от} \quad (11)$$

При включении факторов pH,  $\tau_a$  и  $Q$  получена следующая модель:

$$\Xi_2 = -2,72956 + 0,3655 \cdot \text{pH} + 0,00424 \cdot \tau_a - 0,00222 \cdot Q \quad (12)$$

Для математического моделирования процессов окисления  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  в качестве исходных приняты дифференциальные уравнения Г. Джаста, И. Холлжота и В. Колле, соответственно, которые имеют вид:

$$-d[Fe^{2+}]/dt = K[Fe^{2+}][O_2]/[H^+]^2 \quad (13)$$

$$-d[Fe^{2+}]/dt = K[Fe^{2+}][O_2] \quad (14)$$

$$-d[Fe^{2+}]/dt = K[Fe^{2+}][O_2]/[H^+]^n \quad (15)$$

где  $K$  - константа скорости реакции окисления, 1/мин.

Решая уравнение кинетики процесса окисления железа И. Холлжота (15) получаем интегральное уравнение, которое имеет вид:

$$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{к}} - [\text{Fe}^{2+}]_{\text{н}} \cdot e^{-K[\text{O}_2] \cdot \tau} \quad (16)$$

При логарифмировании ур.16 приобретает вид:

$$\ln C/C_0 - K \cdot [\text{O}_2] \cdot \tau_a \quad (17)$$

При решении задачи на ЭВМ указанным методом, получены наилучшие математические модели для железа и марганца:

$$C - C_0 \cdot \exp[(-0,132 + 0,00841 \cdot \text{Окл.} - 5,84 \cdot 10^{-6} \tau_{\text{от}} + 0,0052 t) [\text{O}_2] \tau_a] \quad (18)$$

где  $C$  - требуемая концентрация  $[\text{Fe}^{2+}]$  через  $\tau$ , мг/л;  $C_0$  - исходная концентрация  $[\text{Fe}^{2+}]$ , мг/л; Окл. - окисляемость воды, мг/л;  $t$  - температура воды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $[\text{O}_2]$  - концентрация кислорода, мг/л.

При известных значениях факторов, можно найти время пребывания воды на установке:  $\tau_{\text{min}} = (-\ln C/C_0) / K [\text{O}_2]$  (19)

Общее время пребывания воды на установке при аэрировании, отстаивании и фильтровании:  $\tau_{\text{общ}} = \tau_a + \tau_{\text{от}} + \tau_{\text{ф}}$  (20)

Степень очистки воды Э от железа и марганца с использованием значения полученной модели (18) согласно формуле (8) имеет вид:

$$\Theta = (C_0 - C) / C_0 \cdot 100 - [1 - \exp(-K[\text{O}_2]\tau)] \cdot 100 \quad (21)$$

Автором установлено, что более существенными факторами, влияющими на степень очистки Э% от железа, марганца и аммония являются: окисляемость воды, мг/л; исходная концентрация  $C_0$  мг/л и их формы, наличие потенциала дающих активных ионов ( $[\text{Cl}^-]$ ,  $[\text{NH}_4^+]$ ,  $[\text{HCO}_3^-]$ );  $\tau_a$ ,  $\tau_{\text{от}}$ ;  $n$ ;  $Q$ ,  $V$  м/с;  $t$ , pH;  $L$ , что соответствует разработанным моделям (рис.5).

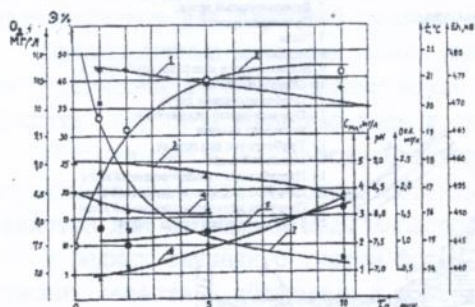


Рисунок 5 - Зависимость изменения степени очистки  $\Theta\%$  для марганца и основных показателей воды от продолжительности аэрирования  $\tau_a$

$$\Theta = f(\text{Окл.}, \tau_a, \tau_{\text{от}}, \text{O}_2, \text{pH}, n, t, Q, V, L, \text{Eh}, C_0, [\text{Cl}^-], [\text{NH}_4^+], [\text{HCO}_3^-]) \quad (22)$$

Указанные факторы служат для контроля КВ т.е. для получения требуемой степени очистки воды и управления технологическими процессами.

При увеличении pH воды,  $\tau_a$ ,  $\tau_{\text{от}}$ ,  $n$ ,  $L$  и понижении  $t$ , окисляемости,  $\text{Eh}$ ,  $Q$ ,  $\Theta\%$  увеличивается.

Удаление аммония зависит от  $\tau_a, t, \text{O}_2$ . При циркуляции осуществляется обдувка  $\text{NH}_3$  или он улетучивается.

В пятой главе даны рекомендации с учетом комплексной оценки КПВ Непала по трем направлениям:

- исследованы и разработаны установки для очистки ПВ от железа, марганца и аммония и методика расчета для проектирования;
- рекомендации по улучшению (сохранению) КВ выбранных объектов;
- комплексные мероприятия по улучшению КВ речных бассейнов Непала.

Автором работы предложены методы и установки, предназначенные для очистки ПВ (подаваемых) от соединений железа, марганца и аммония. Разработанные методы полностью базируются на принципе окисления  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  кислородом до  $Fe^{3+}$  и  $Mn^{4+}$  с последующим гидролизом.

По способам движения потока воды и воздуха предлагаемый перекрестноточный аэратор отличен от прямоточного и противоточного.

Предлагаемые установки состоят из напорно-регулирующей емкости, перекрестно-точного аэратора, отстойника и насоса или без них и фильтра. Аэратор является главным элементом технологической системы.

Предложены два варианта технологических схем очистки ПВ от железа, марганца и аммония: аэрирование и фильтрование при использовании естественного напора рельефа местности; аэрирование с последующим отстаиванием, фильтрованием при напоре насоса (рицикл) (рис.6).

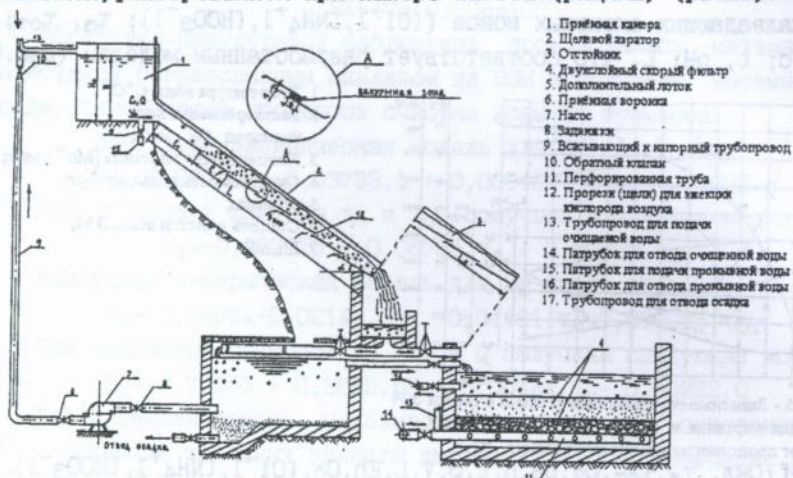


Рисунок 6 - Технологическая схема установки для очистки природной воды от соединений железа, марганца и аммония.

В первом варианте технологической системы окисление  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  завершается в толще фильтрующей загрузки, а во втором - в отстойнике.

Исходными данными для расчета с целью проектирования водоочистной установки являются:  $Q$ , м<sup>3</sup>/с (л/с);  $V$ , м/с или уклон аэратора  $i$ ;  $C_0$  удаляемых  $C_i$  веществ, мг/л; длина первой пластины  $l_1$ ; отношение прорезов (щелей) между пластинами и перекрытия щелей  $\delta/\Delta l$ .

С учетом изменений входных параметров ( $C_i, Q$ ) и выходных (требуемой концентрации  $C$ , Э) предлагается два варианта размещения аэрационного элемента технологической системы: размещать аэраторы параллельно друг другу, стандартизируя размеры конструктивных элементов и менять размеры аэратора (длина или количество щелей, если рельеф местности позволяет; ширина, высота бортов и т.д.).

В первом случае необходимо сделать технологический анализ воды. Если получен ожидаемый результат Э% от удаляемых  $C_i$  веществ, то рекомендуется установка без отстойника с экономическим эффектом.

Преимущество второго метода заключается в том, что установка может работать в однократно-прямоточном и при необходимости в циркуляционном автоматическом режимах при установлении датчиков кислородомера в отстойнике. Время работы насоса определено 5-10 мин/час в соответствии с  $\tau_a$  до предельного насыщения воды кислородом (5-10 мин.).

Поскольку предлагаемыми методами соединения железа и марганца из воды успешно удаляются, поэтому установка может быть использована в пищевой, текстильной, химической, бумажной промышленности и на заводах напитков для глубокой очистки воды от указанных веществ.

Предложенными методами можно удалить взвеси, газы  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$  и легкоокисляющиеся органические вещества, СПАВ, устранять запахи, улучшить вкусовое качество воды и снизить бактериальные загрязнения.

Рекомендуется использовать аэратор в аэротенках и местах перед выпуском сточных вод в водные объекты, водотоках и прудах для рыбного хозяйства для насыщения воды кислородом.

В редких случаях с учетом формы железа в виде комплексов и органических веществ в подземных и поверхностных водах рекомендуется добавлять  $KMnO_4$  в отстойник по дозе  $Fe^{2+}$  до появления розовой окраски.

В сложных ситуациях рекомендуется добавлять по 10% от общего объема фильтрующей загрузки пиролюзит  $MnO_2$  (черный песок) и активированный уголь.  $MnO_2$  и  $KMnO_4$  способствуют окислению трудноокисляющихся соединений, ускоряют процесс окисления являясь катализаторами. Активированный уголь адсорбирует поверхностно-активные вещества (газы, масла, жиры, белки, фенолы, нефтепродукты с бактериями и т.д.) и органические вещества, придающие воде цвет, запах и привкус.

Автором дана технико-экономическая оценка эффективности очистки

ПВ предложенными методами и основным элементом которой является экономический эффект или минимум приведенных затрат. В качестве аналога принят метод очистки воды пневматической аэрацией (базовый вариант).

При этом, определены эксплуатационные затраты, в том числе, амортизационные отчисления, текущий ремонт, затраты на электроэнергию, затрат на заработную плату и прочие расходы.

Основные технико-экономические показатели предложенных методов очистки воды следующие (в тыс.руб. по ценам 1984 г.): производительность 525,6 тыс. м<sup>3</sup>/год; капитальные вложения 17,4; годовые эксплуатационные затраты 21,6; себестоимость 1 м<sup>3</sup> очистки воды 0,041; приведенные затраты 23,7; годовой экономический эффект 101 и 82.

Вода р.Сети относится Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> классу, нарушено карбонатное равновесие т.е. в сторону образования CaCO<sub>3</sub>, в конечном итоге наблюдалось отложение в орошаемом поле до 15-25 мм/год. В связи с этим затруднено использование воды для ирригации, выработки электричества.

Для решения водохозяйственных проблем рекомендуется устанавливать гидроциклон самотечным режимом сразу после забора воды, с последующим отстаиванием в прудах для выработки электричества и орошения, а для водоснабжения-дополнительно фильтрованием и обеззараживанием.

Экологическая ситуация малых рек долины Катманду катастрофическая, нарушена водная экосистема за счет поступления сточных и дождевых вод (см. выше) с городской территории. В долине загрязнены не только водные бассейны но и воздушный. В связи с этим для оздоровления этих объектов, окружающей среды, автор работы рекомендует осуществить следующие мероприятия: строить септики воле дома вдоль реки; запроектировать коллектор вдоль реки по течению на загрязненных участках для приемов сточных вод: строить в первое время биопруды затем поэтапно-очистные сооружения для их очистки; строить водохранилище для регулирования стока и КВ с целью комплексного использования.

Для улучшения (сохранения) КПВ речных бассейнов рекомендуется включить в комплексные водоохранные мероприятия: общее принятые правовые, научно-технические, социально-политические, организационные аспекты; современную технологию очистки природных и сточных вод.

На основе комплексного изучения водных ресурсов Непала автор работы рекомендует посадку лесов, кустарников, трав в эрозионно-активных районах, где выпадает более 2000 мм среднегодовых атмосферных осадков. Для задержания первой грязной порции дождевых вод рекомендуется строить биопруды, а также ступенчатые каменные сооружения для защиты сврагов, тропинок, терасс в горной местности.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. ПВ (поверхностные) Непала являются ультра-пресными ( $M < 0,1$  г/л) из-за хорошей проницаемости горных пород, их твердости (гранит, мрамор, базальт, гнейс), подаваемые воды горных районов - пресными ( $M < 0,5$  г/л), так как инфильтрующаяся вода на коротком пути склонов гор не успевает растворять, выщелачивать и выветривать горные породы, а подаваемые воды долин и района Тераи, то они характеризуются относительно повышенной минерализацией (до 1,5 г/л).

2. По комплексным оценкам КПВ и разработанным системам классификации, установлено, что ПВ Непала относятся к гидрокарбонат-кальциевому классу. Преобладающим анионом является гидрокарбонат, а катионом - кальций. По минерализации, ПВ являются пресными, а pH - слабощелочными.

3. Установлено, что изменение pH, Eh, ЭДС,  $O_2$ , окисляемость зависят от ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ , находящихся в реальных и модельных водных МКС. Указанные ионы являются потенциаладающими. При варьировании температуры 0-35 °С МВР, МКС Eh<sub>max</sub> зафиксировано при 20 °С, а значения его распределены параболически, а pH - линейно.

4. Разработанные эмпирические модели откликов pH, Eh и ЭДС, включающие существенные факторы могут служить для контроля, прогнозирования КПВ и для управления технологическими процессами очистки воды.

5. В различных МВР, МКС в статических условиях равновесие установилось в течение 7-8 суток до полного окисления  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  кислородом. При этом наблюдалось образование осадков. Оценка равновесия, устойчивости водных МКС производилась с помощью интегральных показателей воды pH и Eh, которые являются мерой кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных состояний систем. Построены pH-Eh диаграммы с использованием экспериментальных данных (pH-5,6-8,5; Eh-350-580 мВ) для Fe и Mn на которых отмечены области выпадения осадков  $Fe(OH)_3$ ,  $FeCO_3$ ,  $FeS$  и  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ ,  $Mn(OH)_2$ , т.е. создаются благоприятные условия для решения инженерно-технических проблем по водоподготовке. Выбор ФХ методов очистки подаваемых вод осуществлен на основе pH-Eh состояния, базируясь на принципе окисления переменновалентных металлов ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и др.), легкоокисляющихся веществ кислородом.

6. Установлено что, окисляемость воды понижается, а pH и Eh повышаются в МКС в статических и динамических условиях до полного окисления железа и марганца и при увеличении  $[Fe^{2+}]$ , значения Eh возрастают, но с увеличением  $[Mn^{2+}]$ , Eh понижаются.

7. Самым распространенным и экономичным методом удаления железа марганца и аммония является аэрирование с последующим отстаиванием

или без него и фильтрованием. Среди них перспективным является вакуумно-эжекционный. Однако, этот метод конструктивно сложный и дорогостоящий. Предложенные автором установки нового типа для очистки ПВ (подаваемых) от указанных примесей, а также взвесей, растворенных в воде газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ), бактерий, СПАВ и т.д. по сравнению с существующими имеют ряд преимуществ: эффективность 98,48%, экономичность (энергосберегающая технология), конструктивная простота, широкий диапазон их применения.

8. Основным элементом установки является аэратор типа лотка на дне которого устроены прорези, отношение раскрытия щели  $\delta$  и перекрытия между пластинами  $\Delta l$  ( $\delta/\Delta l=0,6-0,8$ ) строго фиксируются для избежания подтекания потока воды и максимального поступления кислорода воздуха из окружающего пространства. При быстротоке между перекрытиями пластин формируется вакуумная зона, которая в свою очередь зависит от скорости потока воды. Перекрестноточный аэратор представляет собой абсорбер в котором поток воды захватывает кислород воздуха, в результате чего протекают основные процессы в системе, такие как массоперенос, массопередача, растворение кислорода в воде, абсорбция, хемосорбция, десорбция, диффузия, окисление и гидролиз удаляемых веществ.

9. Насыщение потока воды кислородом воздуха зависит от продолжительности аэрирования  $\tau_a$  (5-10 мин), расхода очищаемой воды  $Q$ , концентрации удаляемых окисляющихся веществ  $C_1$ , длины аэратора  $L$ , времени пребывания потока воды в аэраторе  $\tau_{\text{общ}}$ , температуры воды  $t$  и других ФХ, ГД и ТД факторов, а также конструктивных элементов аэратора.

10. Разработанные математические модели, описывающие процессы очистки воды (включающие существенные ФХ, ГД и ТД факторы) и КПО  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  могут служить для расчёта конструктивных элементов установки при проектировании, управления технологическими процессами при обработке воды, для контроля и прогнозирования КВ.

11. Установлено влияние ФХ, ГД и ТД факторов на степень очистки ПВ % от указанных примесей. При повышении  $C_{\text{Fe}}$ ,  $\text{O}_2$ , pH среды,  $\tau_a$  и  $\tau_{\text{от}}$   $n$ ,  $L$  и при понижении  $Q$ ,  $t$  и окисляемости воды, концентрации  $\text{CO}_2$   $\delta$  увеличивается, что подтверждают экспериментальные данные и модели.

12. По оценкам технико-экономических показателей водоочистной установки двух модификаций, метод аэрирования, отстаивания и фильтрования с годовым экономическим эффектом 82 тыс.руб. (по ценам 1984 г.) по своим широким диапазонам использования является более перспективным чем метод аэрирования и фильтрования с эффектом 101 тыс.руб.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Парияр Ч.Б., Коновалов О.М. Физико-химический анализ природных вод Непала //Тез.док.47-й науч.-техн.конф./Под ред.Д.Ф. Гончаренко. -Харьков: 1992. - с.99-103.

2. Парияр Ч.Б., Назарова Р.И., Коновалов О.М. Мешающие действия гидрокарбонат иона ( $\text{HCO}_3^-$ ) р.Сети для водопользования//Тез.48-й науч.-техн.конф./ Под ред. Д.Ф. Гончаренко.-Харьков: 1993. - с.206.

3. Парияр Ч.Б. Климатические условия формирования природных вод Непала //Тез.док.48-й науч.-техн.конф./Под ред.Д.Ф. Гончаренко.-Харьков: 1993. - с.201.

4. Шеренков И.А., Парияр Ч.Б. Метод очистки природных вод от соединений железа, марганца и аммония, ввеси и т.д.//Тез.док.49-й науч.-техн.конф./ Под ред. Д.Ф. Гончаренко. -Харьков: 1994. - с.114.

5. Парияр Ч.Б., Назарова Р.И., Сарокина И.А. Влияние концентрации растворенных веществ на величину окислительно-восстановительного потенциала в многокомпонентной системе //Тез.док.49-й науч.техн.конф./Под ред. Д.Ф. Гончаренко. -Харьков: 1994. - с.120.

6. Шеренков И.А., Парияр Ч.Б. Влияние основных факторов на очистку природных вод от соединений железа, марганца и аммония //Тез.док. 51-й науч.-техн.конф./Под ред.Д.Ф. Гончаренко.-Харьков:1996.-с.88-89.

7. Решение о выдаче патента РФ на заявку No 94025567/26/023774. Установка для очистки природных вод от соединений железа, марганца и аммония / Шеренков И.А., Парияр Ч.Б., Меженцев Ю.С./, 1996.

8. Парияр Ч.Б. Оздоровление малых рек, протекающих через городские территории и густонаселенные пункты Непала // Коммунальное хозяйство городов: Респ.межвед.научн.-техн.об. -К.: Техніка. - Вып.9, 1997. - с.165-167.

9. Парияр Ч.Б. Водохозяйственные проблемы Непала и пути их решения // Коммунальное хозяйство городов: Респ.межвед.научн.- техн.об. -К.: Техніка. - Вып.9, 1997. - с.169-171.

10. Парияр Ч.Б. Математическое моделирование кинетики процесса окисления  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  //Коммунальное хозяйство городов: Респ.межвед. научн.-техн.об. -К.: Техніка. - Вып.10, 1997. - с.19-21.

#### АНОТАЦІЯ

Парияр Чет Бахадур. Оцінка якості природних вод Непалу та дослідження методу очистки води від сполук заліза, марганця та амонію. Дисертація являється рукописом вченого ступеню кандидата технічних наук за фахом 05.23.04 "Водопостачання, каналізація", Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, Харків 1997.

Дана кількісно-якісна оцінка природних вод Непалу на основі комплексного вивчення та аналізу фізичних, хімічних, бактеріологічних, біологічних та гідрометеорологічних параметрів, аналізу природних та антропогенних факторів, впливаючих на якість природних вод, а також на їх основі розроблені системи класифікації природних вод за хімічним складом та за ступенем забруднення.

На основі системного підходу різні багатокомпонентні модельні водяні розчини виготовлені для вивчення кінетики процесу окислення  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  та інших головних процесів в системах. З використанням регресивного аналізу математичної статистики проаналізовані результати експериментів на ЕОМ та були побудовані емпіричні моделі для pH, Eh.

Для вилучення токсичних металів заліза, марганця, біогенних компонентів  $NH_4^+$ , завислих речовин, розчинених газів  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ , бактерій та інших з води, були розроблені нові водоочисні споруди. Розроблені математичні моделі для контролю технологічних процесів.

Ключові слова: природні води Непалу, якість води, метод очистки води від заліза, марганця та амонію, математичні моделі.

#### SUMMARY

Pariyar Chet Bahadur. An assesment of quality of natural water in Nepal and research water treatment method from components of iron, manganese and ammonia. Dissertation is the manuscript for receiving the scientific degree for candidate of technical sciences (Ph.D.) on speciality 05.23.04 "Water supply, sewerage", Kharkov State Technical University of Construction and Architecture, Kharkov, 1997.

An assesment of quality and quantity of natural water in Nepal is given on the basis of complex study and analysis of physical, chemical, bacteriological, biological and hydro-meteorological parameters, natural and antropogenous factors, affecting the quality of water, also on their basis classifications of natural water by chemical composition and level of water pollution (water quality) are developed.

On the basis of system approach different multi-parameters water models are developed to study kinetics of oxidation of  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  and other main processes in the systems. By using regression analysis of mathematical statics, experimental results are analysed with computer support and imperical models for pH and Eh are carried out.

To remove toxic metals iron, manganese and biogenous components  $NH_4^+$ , suspended solids, dissolved gases ( $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ), bacteria and others from water, new water treatment plants are developed. Mathematical models are established to control the technological processes.

Key words: natural water of Nepal, water quality, water treatment method from iron, manganese and ammonia, mathematical models.



Изд. по плану 28.04.97. - 600 экз. 1-2.

433469



Підп. до друку 26.06.97.      Формат 60 x 84, 1/16.      Папір пис. № 2  
Умовн. друк. арк. 1,2.      Тираж 100 прим.      Безкоштовно.

---

Ризограф ХДТУБА, ЗІОООЗ, Харків, вул. Сумська, 40.

433469

