

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

# ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Труды Международной научно-практической конференции  
по проблемам водохозяйственного, промышленного и  
гражданского строительства и экономико-социальных  
преобразований в условиях рыночных отношений**



БИБЕРАХ-БРЕСТ-НОТТИНГЕМ 1998

**Водохозяйственное строительство и охрана окружающей Среды / Труды Международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономика-социальных преобразований в условиях рыночных отношений. Под ред. В.Е. Валуева. - Биберах-Брест-Ноттингем: Центр Трансфера Технологий (ЦТТ), TEMPUS TACIS, 1998. - 222 с.**

Представлены результаты исследований коллектива авторов в области природообустройства, дается анализ современной экологической обстановки, предлагаются пути, методы и способы решения ряда экологических проблем, связанных с водохозяйственным строительством. Рассматривается передовой опыт охраны водных ресурсов, приводятся новые технологии водообеспечения, теплотехники. Большое внимание уделено решению задач инженерной экологии и охраны окружающей Среды, в целом. Часть научных работ посвящена математическому обеспечению экологических исследований и прикладному анализу. Характеризуются современные проблемы химии и предлагаются пути совершенствования эколого-химических технологий.

Сборник предназначен для научных работников, специалистов, чья деятельность связана с водохозяйственным строительством и охраной окружающей Среды, а также для студентов и аспирантов ВУЗов, обучающихся по специальностям водохозяйственного и природоохранного профилей.

*Рецензент:* Кафедра географии Беларуси Брестского государственного университета

*Редакционная коллегия:*

Ильин М.В.	д-р.т.н., профессор – ответственный редактор;
Стефаненко Ю.В.	к.т.н., доцент – зам. ответственного редактора;
Валуев В.Е.	к.т.н., профессор кафедры с.-х. гидромелиораций – зам. ответственного редактора;
Яромский В.Н.	к.т.н., доцент – зам. ответственного редактора;
Водичи Н.Н.	к.т.н., доцент – член ред. коллегии;
Строкач П.П.	к.т.н., профессор – член ред. коллегии;
Рубанов В.С.	к.ф.-м.н., доцент – член ред. коллегии;
Зинович С.К.	д.х.н., профессор – член ред. коллегии;
Строкач Т.В.	зав. отделом офсетной печати – член ред. коллегии;
Волчек А.А.	к.г.н., доцент – ответственный секретарь.

ББК 40.6+28.081

© Брестский политехнический институт 1998

© Коллектив авторов 1998

© ЦТТ, TEMPUS TACIS 1998

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции поставила перед Беларусью комплекс сверхсложных научно - практических проблем: экологических, медицинских, социальных, правовых, агротехнических, демографических и других. К решению этих проблем на государственном уровне привлечены все ученые и специалисты соответствующих профилей. Координация научно - исследовательских работ осуществляется научно - техническим Советом и оперативной Группой ученых при Президиуме Национальной Академии Наук Республики Беларусь. Правительство Беларуси создало специализированные научные учреждения, организовало подготовку кадров по важнейшим направлениям их деятельности. Наряду с Программой комплексных исследований по проблемам ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы, создана, утверждена и реализуется Программа мониторинга и прогнозирования радиационной обстановки в Беларуси.

В настоящее время, в стране имеются собственные кадры и научные школы по всем основным направлениям оценки воздействия радиации на человека и окружающую Среду, по которым интенсивно ведутся, на постоянной основе, научно - исследовательские работы по проблемам: радиационная защита населения; здоровье населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС; комплексная радиационно - экологическая оценка природной Среды, условий жизнедеятельности населения; реабилитация загрязненных территорий; приборно - методическое обеспечение контроля состояния природной Среды и др.

На факультете "Водоснабжения и гидромелиорации" Брестского политехнического института, в год 25-летнего юбилея профилирующей кафедры - "Сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций", по инициативе и при активной организационной работе ее профессорско - преподавательского состава, в феврале 1998 года, проведена международная научно - техническая конференция "Проблемы водохозяйственного строительства и охраны окружающей Среды".

Объединив усилия ученых и специалистов - практиков кафедр факультета "Водоснабжения и гидромелиораций" (*сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций; теплотехники, водоснабжения и канализации, инженерной экологии; химии; высшей математики*), Брестского областного

комитета природных ресурсов и охраны окружающей Среды, Центрального научно - исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (Минск), Белорусского научно - исследовательского института мелиорации и луговодства (Минск), проектных институтов "Белгипроводхоз" (Минск) и "Полесьегипроводхоз" (Пинск), Белорусской государственной политехнической академии (Минск), Белорусской сельскохозяйственной академии (Горки, Могилевской области), Белгосуниверситета (Минск), Брестмелиоводхоза, Брестского государственного университета (Брест), Винницкого политехнического института (Винница, Украина), Новосибирского инженерно - строительного университета (Новосибирск, Россия), Омского филиала Сибирского научно - исследовательского института гидротехники и мелиорации (Омск, Россия), Белостокских - "Политехники" и института "Экологически чистой сельскохозяйственной продукции" (Белосток, Республика Польша), Института современных знаний (Минск) и других, устроители международной научно - технической конференции получили де - факто творческую лабораторию, в сфере оперативной деятельности которой прошел плодотворный обмен результатами исследований, по поднятым участниками конференции проблемам.

Часть материалов докладов, заслушанных на конференции, предлагается вниманию читателей настоящего сборника. Научные работы охватывают широкий межотраслевой круг вопросов по проблемам водохозяйственного строительства и охраны окружающей Среды: теоретических, прикладных, научно - технических, социально - экологических, организационно - правовых, связанных с решением задач природообустройства, тепловодообеспечения, инженерно - экологической безопасности, охраны водных ресурсов и окружающей Среды, эколого- химических технологий, прикладного математического анализа.

Опыт ликвидации последствий Чернобыльской ядерной катастрофы показывает, что достижений мировой науки и практики явно недостаточно, а рекомендуемые меры, часто, неэффективны. Поэтому, необходимо дальнейшее объединение усилий всего человечества для выработки и осуществления упреждающих мер по защите от аварий и преодолению последствий экологических катастроф.

Надеемся, что помещенная в сборнике информация будет содействовать скорейшему решению поднятых каждым исследователем проблем в полном объеме.

В.Е.Валуев  
Н.Н.Водчиц  
Ю.В.Стефаненко

# 1 ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЛАРУСИ

**В.Е. Валуев**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Анализируется экологическая обстановка в Беларуси с учетом всех гидролого-климатических составляющих климата, рассмотрены последствия Чернобыльской катастрофы, приведены конкретные указания по выходу из сложившейся критической ситуации в области экологии и охраны окружающей Среды.*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ПРОБЛЕМЫ, РЕСПУБЛИКА, БЕЛАРУСЬ, ОЦЕНКА, СОСТОЯНИЕ, ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ, ПОКАЗАТЕЛИ

*Состояние качества атмосферного воздуха*

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (воздушный бассейн) осуществляют как стационарные (точечные), так и мобильные источники. В общих объемах выбросов стационарными источниками в начале 90-х годов различные загрязнения, по ориентировочным данным, составляли:  $\text{SO}_2$  - 51%, CO - 16%,  $\text{NO}_2$  - 9%, пыль - 9%, легкие органические соединения (ЛОС) - 17%. Необходимо отметить, что в 1980...1991 годах наметилась тенденция к уменьшению выбросов CO и  $\text{SO}_2$  при стабильном поступлении  $\text{NO}_2$  в атмосферу. Снижение выбросов  $\text{SO}_2$  и CO можно связать с увеличением потребления природного газа. Некоторое снижение выбросов пыли связано с совершенствованием пылеудерживающих систем на промышленных предприятиях [1].

Примерно 30% от общего объема выбросов стационарных источников загрязнения в атмосферу приходилось на долю электростанций, около 15% - на химические и нефтехимические предприятия. Причем, загрязнение воздуха электростанциями по отдельным компонентам было подавляющим (более 60% -  $\text{SO}_2$  и до 70% выбросов  $\text{NO}_2$ ). До распада Союза на террито-

рии Беларуси действовало более 2 тыс. крупных и средних предприятий, имевших более 60 тыс. точечных источников, в т.ч. две трети из них - с неконтролируемыми выбросами. На городских территориях контролем были охвачены около 75% точечных источников выбросов. Качество контроля выбросов в атмосферу было выше среднереспубликанского уровня в городах Минск, Гомель, Орша. Однако, такие города как Борисов, Солигорск, Гродно, Новополоцк имели большее количество неконтролируемых источников выбросов, чем контролируемых.

По приближенным данным, объем выбросов из *мобильных источников* в 1990 году достигал 59% от общего количества выбросов в атмосферу. За последние годы количество автомобилей не уменьшилось, а средний срок службы далеко перешагнул 10-летний рубеж. Необходимо отметить, что методики оценки количества выбросов от мобильных источников основываются на данных пробных прогнозов и не содержат поправок на нарушения установленных норм, что характерно для 35% автотранспортных средств. Реальные объемы выбросов из мобильных источников, их интенсивность (тонн на 1 млрд. долларов ВВП) и плотность ( в расчете на площадь территории страны ), особенно в крупных городах , продолжают расти. Хотя, интенсивность и плотность мобильных выбросов в Беларуси выше, чем в развитых странах, благодаря широкому использованию природного газа, отсутствию электростанций со сжиганием угля и низкой доли угля в топливном балансе жилищного сектора, эти показатели значительно лучше, чем в других странах Центральной и Восточной Европы. Например плотность выбросов  $SO_2$  в 1991 году была в два раза меньше, чем на Украине (более 5 тыс.  $кг/км^2$ ). Известно, что ряд предприятий Беларуси - биохимии, нефтехимии, деревообрабатывающей, текстильной промышленности , промышленности строительных материалов и др. продолжают выбрасывать в атмосферу высокотоксичные вещества широкого спектра без надежного текущего контроля их концентраций. Это связано с тем, что измерение концентраций этих веществ является сложной прикладной задачей и должно содержаться в программах регулярного мониторинга, включающего в себя оценки загрязнения территории Беларуси через государственные границы стран Европы. Можно предположить, что с учетом общих выбросов в соседних странах и особенностей устойчивых циркуляционных процессов в атмосфере Земли, Беларусь является, как бы "нетто - импортером" загрязнителей воздушного бассейна, преимущественно из Польши, Германии, Чехии, Словакии и Украины. В то же время, она "экспортирует", тран

зитом поступившие и просуммированные с собственными, загрязнения в страны Балтии и северо-западные районы России. Полная картина естественного тепловлагомассообмена между сопредельными территориями может быть восстановлена при условии выполнения комплексного гидролого-климатического исследования, связанного с нуждами экологии.

### *Состояние качества воды*

Показатели качества воды традиционно рассматриваются как совокупность биологических и физико-химических характеристик воды: трюфосапробности, солености и жесткости, водородного показателя рН, концентрации вредных веществ. Качество воды в Беларуси определяется как превышение над величиной показателя заражения воды (ПЗВ), на котором основаны семь систем классификации. При расчетах ПЗВ также используются традиционные параметры химии воды (всего шесть): растворенный кислород, биологическая потребность в кислороде (БПК-5), содержание аммиака, нитрата, нефтепродуктов и фенолов. При использовании подобного обобщенного показателя качества воды, *поверхностные источники* относятся к определенным категориям: чистые, а также с различными градациями уровней загрязненности ("Грязности") - от класса I, присваиваемого самым чистым рекам, до класса VII - самым загрязненным рекам.

Естественно, как и любая другая, данная система оценки качества *поверхностных вод* не обеспечивает полного представления качества водных источников. Существенное загрязнение вод может быть вызвано рядом других факторов. Например, содержанием нитратов, фосфатов, или сложных токсичных веществ. Более того, ежемесячные пробы могут не учесть разлива по водной поверхности вредных веществ, их залпового сброса, или даже достаточно низких уровней концентрации загрязнителей, накапливающихся в различных формах биологической жизни водных объектов. Реки Беларуси (2 тыс.), общей протяженностью около 90 тыс. км, относятся к главным водосборам как Черного, так и Балтийского морей. Из них большое количество - малые реки. Около 460 из которых отдают воды Балтийскому и около 560 - Черному морю, протекая, при этом, через территории соседних стран. Кроме того, в стране имеется более 10 тыс. озер с площадью зеркала, в основном, меньшей 50 га (у 470 озер эта площадь 50 га и более).

Большинство малых, средних рек и озер весьма чувствительны к загрязнению воды из-за недостаточного разбавления загрязнителей. Подземные

воды также уязвимы, в смысле возможности их загрязнения, практически на всей территории Беларуси, чему способствуют песчаные, легкофильтрующие почвогрунты на юге и неустойчивые геологические формации - на севере страны. Многие естественные озера и водохранилища страдают от эвтрофикации (переизбытка питательных веществ), связанной с промышленными сбросами, сбросами муниципальных очистных сооружений и особенно стоков животноводческих комплексов.

Вообще, решение проблемы качества *поверхностных источников и подземных вод* сопряжено с проблемой сброса сточных вод.

Большинство стран стремятся достичь нормативных уровней биологической потребности в кислороде (БПК) и общего содержания взвешенных веществ (ОСВВ), сбрасываемых в открытые водоисточники, соответственно, 20 и 20 мг/л.

В 1996 году, для очищенных сточных вод, в Беларуси эти показатели (БПК, ОСВВ) были несколько ниже нормы, что положительно характеризует эффективность применяемой вторичной биологической очистки стоков и, очевидно, снижения темпов производственной деятельности. Хотя, из-за отсутствия надлежащего мониторинга качества и количества сточных вод, реальная концентрация загрязняющих веществ может, в определенных условиях, превышать установленные нормативы. Вместе со сточными водами, в водотоки попадают тяжелые металлы, представленные почти равными количествами меди, цинка и хрома.

Самым крупным источником жидких отходов в Беларуси являются бытовые стоки (65% годового объема сброса сточных вод). Вторым, по количеству этих отходов, источником являются промышленные предприятия (28%). На долю этих двух источников приходится 97% нагрузки по БПК и 94% нагрузки по ОСВВ. При этом, серьезной проблемой является загрязнение муниципальных очистных сооружений и канализационных систем, в целом, в связи с несанкционированными сбросами в них сточных вод. Из-за плохо организованных систем специальных свалок и утилизации отходов, есть вероятность сброса предприятиями токсичных материалов в канализационную сеть в ночное время.

В 1996 году вода открытых источников, относимая к категории "чистой", согласно отбору проб по мониторингу, обнаружена на 10% контролируемых территорий Беларуси, подавляющая часть водных источников отнесена к типу III, т. е. к категории умеренного загрязнения. Такие большие реки, как Неман, Припять, Западная Двина и Днепр также отнесены к

классу рек с умеренной степенью загрязнения. Наиболее загрязненными являются реки Свислочь (ниже по течению от Минска), Западный Буг - ниже по течению от Бреста, Березина - ниже по течению от места ее слияния со Свислочью и на участке нескольких десятков километров ниже по течению от Бобруйска, а также Днепр - ниже по течению от городов Орша и Могилев.

Поскольку в Беларуси преобладают малые реки, то *подземные воды* являются важным источником водоснабжения страны. Водопроводное, или "централизованное" водоснабжение, осуществляемое, главным образом, за счет артезианских скважин или рек преобладает в городах и поселениях городского типа. "Децентрализованное" водоснабжение из неглубоких индивидуальных колодцев преобладает, в основном, в сельских населенных пунктах. Доля населения (по административным областям), использующего децентрализованные источники воды колеблется в Беларуси от 52% (Минская) до 79% (Брестская). Причем, от 31% (Минская) до 79% (Витебская) мелких колодцев не соответствуют химическим стандартам по качеству воды. Биологическим стандартам качества воды не соответствует, соответственно, от 18% (Брестская) до 49% (Витебская область) мелких колодцев. Причем, вода из подземных источников, в структуре общего потребления, составляет, в целом по Беларуси, 43% (Гродненская и Могилевская области - по 60%, Минск - 66%).

Известно, что неглубокие колодцы легко подвергаются, повсеместно, химическому и бактериальному загрязнению. Однако, интенсивному химическому загрязнению (нитратами, хлоридами) подвергаются и артезианские воды. Поэтому, сегодня зачастую возникает проблема изыскания чистых источников воды для строительства водопроводов в сельской местности.

Во всех регионах страны не было превышения норм содержания в питьевой воде тяжелых металлов (ртуть, свинец, кадмий, мышьяк), а также уровней ее радиоактивности.

Рассматривая проблему загрязнения воды через государственные границы, можно предположить, что Беларусь является "нетто-экспортером" загрязнений водного бассейна (около 56% общего стока поступает на Украину, 25% - в Латвию, 17% - в Литву и около 2% в Россию и Польшу).

После аварии на Чернобыльской АЭС, радионуклиды с поверхности почв и вместе с подземными водами переносятся в открытые водоисточники (р.р. Припять и Днепр, Киевское водохранилище). Хотя радионуклиды не мигрируют свободно, но в половодье и при выпадении осадков они спо-

способны обретать взвешенное состояние или продуцировать в виде новых частиц в процессе эрозии почв. Очевидно возникновение новых факторов риска для людей, потребляющих в пищу воду и рыбу из этих источников [2].

### *Выработка и размещение опасных и твердых отходов*

Как и любое другое государство, *Беларусь вырабатывает и накопила*, к настоящему времени, большое количество *опасных отходов* широкого спектра - от радиоактивных, коррозионных и горючих, до высокотоксичных материалов. Имеющиеся статистические данные по производству, повторному использованию, очистке, хранению и удалению опасных отходов указывают на то, что повторно используется около четверти вырабатываемых токсичных отходов, очищается и обезвреживается около 40%, размещается в специальных хранилищах до 10% и на неконтролируемых площадках - 25% отходов.

Необходимы конкретные правила и нормы, устанавливающие эффективную систему контроля за очисткой и размещением опасных отходов. Здесь неуместны общие требования, предписывающие размещать опасные отходы на собственных территориях предприятий. Международная практика показывает, что темпы накопления токсичных отходов составляют около 10% в год. Главным способом удаления городских твердых отходов в Беларуси, до настоящего времени, является их захоронение на свалках. Количество действующих предприятий по переработке твердых отходов неадекватно потребностям и экологической ситуации в Беларуси. При этом, территория, одновременно используемая в качестве свалок, стабильно превышает 1000 га. В Беларуси действует несколько десятков предприятий, применяющих технологии электросаждения металлов, и все они сбрасывают жидкие отходы в городскую канализацию. При этом, органический ил, получаемый в процессе очистки канализационных стоков, содержит примеси хрома, цинка, кадмия, никеля и других тяжелых металлов.

В результате, примерно, 200 тыс. тонн органического ила должны подвергнуться очистке, т.к. в нем содержатся токсичные вещества. В 50% отходов (от всей массы материалов), размещаемых на неконтролируемых площадях (городские мусорные свалки, овраги, котлованы вблизи застроенных территорий и др.), часто содержится шестивалентный хром, который является канцерогеном. Там же обнаруживаются формовочные смеси, рас-

творители, нефтешлаки, фенолсодержащие и лакокрасочные отходы, а также, упомянутые выше, отходы тяжелых металлов.

Примерно, в одной тысяче пунктов на территории Беларуси могут использоваться радиоактивные вещества и материалы в промышленных, сельскохозяйственных, медицинских и научных целях. Имеющиеся хранилища отработанных материалов с низким и средним уровнем радиоактивности, практически, заполнены, нуждаются в оснащении контрольно - измерительными и техническими системами, обеспечивающими надлежащую изоляцию и мониторинг состояния радиоактивных отходов. Поэтому, необходима системная работа по выявлению подобных свалок, с целью установления видов токсичных веществ, степени загрязнения подземных и поверхностных вод в зонах их влияния и своевременного принятия предупредительных мер.

### *Состояние земель и лесов*

При площади территории Беларуси в 20,8 млн. га, сельскохозяйственные угодья занимают 9,4 млн. га, леса - 8,0 млн. га и водные угодья - 1 млн. га.

В целом, *по территории страны преобладают дерново - подзолистые почвы* на различных по механическому составу коренных породах.

Широко развиты также торфяно-болотные и дерново-подзолистые заболоченные почвы, менее распространены аллювиально-луговые, которые размещены лишь в долинах рек. По механическому составу почвенный покров (почвы) разделяется следующим образом: глинисто - суглинистые (27%); песчано - суглинистые (49%); песчаные (19%); торфяные и маршевые (5%).

Около 1,2 млн. га площади пахотных земель подвержены эрозии и почти 500 тыс. га относятся к категории с сильно эродированными почвами.

Большие территории, в свое время, были отведены для добычи торфа и минерального сырья (за 20 лет около 10 тыс. га). В настоящее время, эти земли, в основном, рекультивированы. Большая часть обширных водно-болотистых массивов на юге страны была осушена и превращена в сельскохозяйственные земли в рамках *Комплексной программы* рационального использования и охраны природных ресурсов Полесья. Однако, выполнение данной "комплексной" программы шло по урезанному варианту, а в 90-е годы она была свернута, вообще. Поэтому, результаты мелиоративной дея-

тельности, в Белорусском Полесье, можно назвать скромными, как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Мелиорированные почвы имеют хорошую механическую структуру, но они подкислены (рН-5,6), характеризуются слабыми щелочными обменными реакциями и бедны фосфором.

Почвы требуют известкования, применения совершенных технологий внесения минеральных, органических удобрений и выращивания на них сельскохозяйственных культур. Естественный почвенный покров из легких и тощих почв ставит Беларусь в более неблагоприятные условия хозяйствования по сравнению с другими странами Восточной Европы.

Однако, соотношение вносимых питательных веществ несбалансировано: вместо рекомендуемого соотношения 1 N: 0,9 P: 0,6 K в период относительно стабильного их использования (1988...1991 г.г.) действовало соотношение 0,75 N: 0,5 P: 1 K, что, определенно, обуславливалось чрезмерным применением добываемых в стране нефосфатных удобрений.

Внесение удобрений в Беларуси достигало своего пика (271 кг/га) в 1989 году (Голландия вносила, в среднем, 770, Бельгия - 277, Болгария - 183, Румыния - 130 кг/га).

В 1980...1990 годах, при производстве зерновых и кормовых культур, вносилось от 12 до 14 т/га органических удобрений. В 1992 году на крупных животноводческих комплексах содержалось 6,6 млн. голов крупного рогатого скота и 4,7 млн. свиней. Гипертрофированные размеры комплексов, несовершенство используемых систем навозоудаления и утилизации животноводческих стоков привели к повышенным уровням нитратов в почве, поверхностных и подземных водах на значительных территориях. Корма, получаемые на этих землях, практически, непригодны для скармливания скоту.

Пик использования пестицидов в стране пришелся на 1987 год, но, из-за сокращения поставок по импорту, дальнейшее их применение неуклонно снижалось.

Но проблема хранения нестандартных или запрещенных пестицидов во многих хозяйствах до настоящего времени не решена.

*Состояние загрязнения земель и зеленых территорий зависит, в определенной мере, от загрязняющего алияния воздуха. Земельные ресурсы Беларуси, в значительной мере, страдают от двух типов загрязнения воздуха. Первый - это радиоактивные осадки постчернобыльского периода.*

Если сразу же после аварии на ЧАЭС радиоактивность земель определялась, главным образом, наличием короткоживущих радионуклидов ( ксенон - 133, йод - 131, стронций - 89 и др.), то в последующие 1...2 года - церием - 144, рутением - 106, цезием - 134 и др., а в настоящее время (и на следующие десятилетия) - главные источники радиоактивности - стронций - 90 и цезий - 137, плутоний - 238, -239, - 240.

Эти источники радиоактивности распределяются, преимущественно, в верхнем 5-см слое почвы (особенно, глинистой). Миграция вглубь почвогрунтов радиоактивных частиц ускоряется на песчаных и торфяно-болотных почвах.

На явление их миграции может влиять и, естественно влияет, антропогенная деятельность (перепаживание почвы, внесение повышенных доз удобрений).

*Второй тип* загрязнения воздуха, разрушительно влияющий на земельные ресурсы Беларуси, - влажное и сухое *осаждение* на поверхность почвы, водных источников, лесных массивов и др. *окислов азота и серы*. Исследования атмосферы Северной Европы показывают, что 20...25% двуокиси серы удаляется из атмосферы за счет осаждения.

Примерное соотношение сухого и мокрого осаждения по азоту составляет 2:1.

Сухое осаждение происходит, когда выбросы  $SO_2$  и  $NO_x$  поглощаются непосредственно поверхностью водных источников и почв. Некоторые количества  $SO_2$  и  $NO_x$  образуют кислоты ( $H_2SO_4$  и  $HNO_3$ ) в атмосфере и выпадают на землю в виде дождя или снега.

Например, общий показатель осаждения серы в удаленных сельских районах ФРГ составляет, примерно, 88 кг/га/год, а азота - 13 кг/га/год, в странах Северной Европы интенсивность осаждения азота варьируется в пределах от 10 до 25 кг/га/год.

В этих странах возникли серьезные проблемы окисления атмосферных осадков (кислотные дожди).

Примерно, в этих пределах наблюдается интенсивность осаждения азота и в Беларуси.

Осаждение серы оказывает двойное отрицательное воздействие на земельные ресурсы (на поверхностные части растений, на характеристики почв).

Особой опасности, при этом, подвергаются в Беларуси еловые и сосновые леса на легких почвах, чувствительных к подкислению.

Проблема осаждения тяжелых металлов (особенно свинца) злободневна для крупных городов с интенсивным движением автотранспорта. Хотя, максимальное отмеченное в Беларуси (г. Минск), значение концентрации свинца составляет лишь 50% от уровней, устойчиво регистрируемых во многих городах США.

Большей частью *лесных угодий* управляет Министерство лесного хозяйства Беларуси (≈ 82%), остальная часть лесов принадлежит колхозам, военному ведомству, природным охраняемым территориям, научным и учебным заведениям, а также местным органам власти. После второй мировой войны в Беларуси была реализована широкомасштабная программа лесовосстановления и облесения на массивах, понесших наибольший ущерб.

В целом, за 1945...1973 годы, площади лесов увеличились с 23 до 34% от всей площади территории страны. В настоящее время лесопосадки продолжают, причем, шаг посадки значительно сокращен по сравнению с послевоенным уровнем и составляет ныне 5 тыс. саженцев / га для сосны и 4 тыс. саженцев / га - для других пород деревьев. Восстановление сосновых лесов на участках сплошной рубки осуществляется, в основном (до 75%), путем естественного возобновления.

Министерство лесного хозяйства имеет питомники общей площадью около 3,5 тыс. га, из которых 1,0 тыс. га - семенных питомников, производящих семена в промышленных масштабах, в т.ч. на экспорт. Учитывая преобладание молодых групп деревьев, Беларусь имеет относительно высокие средние запасы леса на корню по различным категориям и основным видам древесины. Обращает на себя внимание то, что ель имеет наибольший объем древесины на один гектар, чем другие виды. Однако, следует отметить, что с 1995 года возникла проблема усыхания еловых лесов, которая связана со снижением уровня подземных вод и изменением их химического состава. Реальный же прирост леса, в общем, ниже потенциального (на 30...50%) и зависит от интенсивности ведения лесного хозяйства, включая степень деформированности возрастного распределения деревьев. В долгосрочной перспективе, при интенсивном лесовоспроизводстве, ежегодные заготовки леса могли бы составить 20...25 млн.м<sup>3</sup>. Беларусь защищает одну треть своих лесов от промышленных рубок. Вместе с тем, значительная часть охраняемых лесов эксплуатируется с незначительными ограничениями. Зоны, где сплошная вырубка полностью запрещена и где разрешается лишь тщательное выборочное прореживание деревьев, охватывают 14% площади лесов.

Охраняемыми являются следующие территории: вдоль водных объектов (реки, озера) - общая защитная площадь имеет ширину 6 км по обе стороны реки; вдоль дорог - общая защитная площадь охватывает пояс шириной 500 м от каждой стороны дороги; зеленые зоны вокруг домов отдыха и крупных городов - размеры зон определяются в зависимости от их подверженности загрязнению; крупные охраняемые природные комплексы (четыре) вне юрисдикции Министерства лесного хозяйства (350 тыс. га); прочие лесные резерваты и небольшие заповедники (50 тыс. га).

### *Состояние охраны природы*

В Беларуси принята и действует *система классификации природных охраняемых территорий*, включающая:

- *Заповедники*, или природные территории со строгим режимом охраны (252,0 тыс.га). К классу заповедников относятся следующие природные резерваты: Березинский, Припятский и Полесский. Кроме того, Березинский заповедник является Международным биосферным заповедником. Полесский заповедник используется для изучения влияния Чернобыльской аварии на природный комплекс. Заповедники Свислочь - Березинский (20 тыс.га) и Налибокская Пуща (87 тыс.га) пока не завершили формирование своего статуса;

- *Национальные парки*, как ценные природные территории, используемые в научно-исследовательских целях, для рекреационного и общеобразовательного туризма. После 1991 года лишь Беловежская Пуща соответствовала подобной классификации. Ведутся работы по созданию новых национальных парков (Нарочанского, площадью 120 тыс.га; Браславского, площадью 50 тыс.га и др.).

- *Зоны охраны*, в которых запрещены промышленная деятельность, применение удобрений и пестицидов, а землепользование осуществляется с разрешения администрации заповедников.

Каждая природная охраняемая территория по-своему уникальна. Так, Беловежский национальный парк имеет реликтовые смешанные лиственные леса, ранее распространенные на всей территории Европы. В Березинском заповеднике сохранились водно-болотистые реликты Валдайской ледниковой эпохи.

Для Припятского заповедника характерно сочетание суходолов и торфяных болот. В Полесском заповеднике, как отмечено выше, проводятся исследования влияния радиоактивных процессов на экосистемы.

Природа Беларуси характеризуется достаточно высокими показателями биологического разнообразия (1545 видов растений, 432 вида позвоночных, в т.ч. 280 видов птиц, 73 вида млекопитающих, 60 видов рыб, включая 4 циклостомы, 7 видов рептилий земноводных).

Леса и связанные с ними водно-болотистые территории - основные зоны обитания животного мира.

- *Заказники*, или природные комплексы, рассредоточенные, практически, по всей территории Беларуси, и используемые для охраны водосборных бассейнов, охотничьих угодий, специальных природных геолого - гидрологических объектов, относимых к гибко определяемой категории объектов, требующих некоторой системы контроля. Уникальные природные объекты проходят постоянную идентификацию и получают официальный статус заказников, число которых в Беларуси приближается к ста (общая площадь более 700 тыс.га).

Необходимо отметить четкий регламент режимов природопользования на природных охраняемых территориях. Так, в центральных зонах заповедников природопользование вообще запрещено, в буферных зонах - оно ограничивается санитарной рубкой (до 25%) сухостойных деревьев и выборочной охотой в целях контроля или при проведении соответствующих научных исследований. Здесь отсутствует внешняя зона охраны. Флора охраняемых территорий наиболее репрезентативна для ее характеристики в целом по стране (1032 вида, 67% всей флоры Беларуси). На территории Беларуси имеются отдельные природные комплексы, являющиеся наглядным примером выживания экосистем после естественных и антропогенных катастроф (Беловежская Пуща и ряд других).

#### *Влияние загрязнения окружающей Среды на здоровье населения*

Состояние здоровья людей зависит, как правило, от множества факторов: с одной стороны, от воздействия загрязняющих веществ (например, нитратов и бактерий в подземных водных источниках, твердых частиц и органических химических веществ - в воздухе), с другой, - от образа жизни самого человека (курение, употребление алкоголя, несбалансированность питания и др.).

В настоящее время, продолжается, 25 лет назад начавшийся, процесс сокращения средней ожидаемой продолжительности жизни, при увеличивающемся "разрыве" между этими показателями у мужчин и женщин.

Ярко выражено влияние экологических факторов на здоровье *городского населения*, особенно, в крупных промышленных центрах (респираторные и кожные заболевания, заболеваемость злокачественными опухолями и др.). Причем, наиболее распространенные заболевания у детей не старше 14 лет, как и у населения в целом, здесь имеют тенденцию роста в ряду лет.

Существенное влияние на продолжительность жизни *сельского населения* оказывают уровни бактериологического и химического загрязнения подземных водных источников. Высокие концентрации нитратов в питьевой воде могут порождать свои *проблемы*.

Бактериологическое загрязнение источников питьевой воды (колодцев и, в определенной степени, артезианских скважин в зонах влияния животноводческих комплексов и др.) способствует росту заболеваний желудочно-кишечного тракта у людей.

Наряду с загрязнением питьевой воды в колодцах нитратами, этому виду загрязнения подвергается и сельскохозяйственная продукция (порой с превышением норм ПДК).

Известно, что экономические факторы, в последнее время, побуждают предприятия экономить деньги, не делая инвестиций в приобретение оборудования, улучшающего гигиену труда в производственных помещениях. Это часто приводит к росту профессиональных заболеваний. Ощущается дефицит подготовленных специалистов и соответствующего медицинского оборудования для диагностики подобных заболеваний, особенно, на ранних их стадиях.

Болевой точкой для Беларуси являются *медицинские аспекты Чернобыльской катастрофы*. Хотя, считается, что Чернобыльская авария является одной из наиболее исследованных, в настоящее время, атомных катастроф новейшей истории. В 1991 году (через пять лет после аварии), МАГАТЭ опубликовало специальный отчет с изложением характеристик экологических и медицинских последствий выброса радионуклидов в трех наиболее пострадавших странах - России, Украине и Беларуси.

Радиоактивные вещества, попавшие с воздухом, водой и пищей в организм человека, по-разному накапливаются, перемещаются и выводятся из органов.

Вместе с тем, в исследованиях онкологических заболеваний у людей, в связи с радиацией, имеется достаточно много невыясненных моментов. Это - отсутствие адекватных методов экстраполяции цифровых данных от высоких до низких уровней полученных доз облучения, от кратковременного

до продолжительного воздействия радиации и от одной группы населения до другой, или - существующий уровень понимания взаимодействия между ионизирующим излучением и канцерогенными веществами и др.

#### Литература

1 Последствия Чернобыльской катастрофы Республики Беларусь. Национальный доклад / Под ред. Е.Ф. Конопки и И.В. Ровлевича. - Минск, 1996. - 95 с.

2 Программа действий по охране окружающей Среды для Центральной и Восточной Европы// Матер. конф. Министров по защите окружающей Среды. - Люцерн, Швейцария, 1994. - 213 с.

### **О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО - СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА И АУДИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ СЭЗ "БРЕСТ")**

**В.Е. Валуев, А.А. Волчек, В.В. Лукша, О.П. Мешик,  
В.Ю. Цилиндь, В.В. Цыганок**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Исследована проблема охраны окружающей Среды в зоне влияния производственных комплексов (на примере СЭЗ "Брест"), даны рекомендации по оценке гидролого-климатических показателей на основании разработанной информационно-советующей системы регионального мониторинга и аудирования состояния окружающей Среды.*

**ИНФОРМАЦИОННО-СОВЕТУЮЩАЯ, СИСТЕМА, РЕГИОНАЛЬНЫЙ, МОНИТОРИНГ, АУДИРОВАНИЕ, ОКРУЖАЮЩАЯ, СРЕДА, СЭЗ "БРЕСТ"**

Практика показывает, что уже на стадии экспериментально-поисковых и технических работ (формирование баз исходных данных с разработкой выходных документов для ПЭВМ; систематизация, обобщение, анализ и документальное представление гидрометеорологической информации, материалов полевых экспериментов; соответствующих обобщений) требуется надежное теоретическое и программное обеспечение процесса прикладных исследований в данной области.

В тесной связи с *мониторингом окружающей Среды* должен осуществляться *экологический аудит*, главной целью которого является выявление потенциального риска на промышленных предприятиях регионов и юридической ответственности за загрязнение окружающей Среды, снижение антропогенных воздействий до установленных нормативов и лимитов в период эксплуатации производственных объектов при условии совершенствования технологий, уменьшения количества отходов и сокращения выбросов. Экологическое аудирование, как независимая проверка предприятий, фирм и организаций, позволит своевременно выявлять соответствующие проблемы, пополнять банк данных по динамике антропогенных воздействий на окружающую Среду, будет способствовать, следовательно, среднесрочному и долгосрочному прогнозу ее состояния в регионах. Экологическое аудирование осуществляется не на этапе планирования, а в ходе производственного процесса на предприятиях, фирмах и в организациях. В рыночных условиях оно является основным индикатором в деле сочетания высоких экологических показателей и конкурентоспособности предприятий. Поэтому, *экологический аудит может быть обязательным и инициативным*, что даст широкую возможность на устойчивой (постоянной) основе пополнять банки данных, входящих в мониторинг окружающей Среды.

Как отмечено выше, для принятия решений, касающихся проблем экологии СЭЗ "Брест", *неизбежен постоянный мониторинг* различных параметров окружающей Среды. В этом случае, постепенно формируется набор параметров, характерных для данной точки замера, а также появляется возможность отслеживания взаимных влияний параметров отбора проб на различных контрольных постах. При наборе достаточно большой статистики, появляется возможность делать предсказания характера поведения конкретного параметра, в случае изменения других параметров.

Говоря иными словами, появляется возможность предсказания влияния на экологическую обстановку в СЭЗ "Брест" строительства крупного завода, распашки земель, и т.п. Таким образом, задача мониторинга окружающей Среды распадается на два важных этапа:

1 - накопление информации о значениях контролируемых параметров в течение длительного отрезка времени;

2 - анализ накопленных данных с целью обнаружения взаимозависимостей между параметрами, что позволит в дальнейшем предсказать изменение конкретного параметра, в зависимости от изменений других.

Исходя из выше сказанного, авторы предлагают собственную систему, способную не только хранить наблюдаемые данные, но также вести их обработку.

Очевидно, что данная система представляет собой расширение уже имеющихся баз данных, средствами их автоматической обработки. Данные средства поставляются авторами, а также могут самостоятельно создаваться пользователями Информационно - Советующей Системы (ИСС), посредством применения авторского стандарта передачи данных.

Коротко перечислим основные возможности ИСС:

1) *Создание и ведение базы данных по параметрам наблюдения, контрольным постам и т. д.*

Этот раздел подсистемы функционально эквивалентен имеющимся СУБД;

2) *Средства автоматизирования заполнения отсутствующих данных, исходя из статистического анализа поведения имеющихся данных.*

При решении ряда задач, необходимо обеспечить аппроксимацию пропусков наблюденных данных. Поэтому, в системе предусматривается ведение двух баз данных: наблюденных параметров и аппроксимированных параметров. Для заполнения отсутствующих элементов используются общепринятые статистические методы и разработанные авторами методики. При этом, средства регистрации содержат информацию об методе (методике) оценки использованных при аппроксимации соответствующих величин;

3) *Возможность формирования множественного запроса данных и передачи полученного результата внешней или встроенной программе анализа указанного запроса.*

Решение любой практической задачи опирается на некоторый набор данных. ИСС предоставляет пользователям возможность выборки имеющихся данных из нужных баз наблюдаемых параметров;

4) *Средства протоколирования работы ИСС.*

Для осуществления текущей экологической экспертизы состояния компонентов природной Среды, контроля изменений баз данных, самой работы ИСС, для поиска источников ошибочных данных, крайне полезными представляются средства протоколирования работы ИСС. Эти средства, дополнительно, позволяют администратору системы определять, кто и когда осуществлял доступ к базе, а также характер выполненных, при этом, действий;

5) *Средства ведения архивов баз данных.*

Для защиты от случайной потери данных, для возможности отказа от изменения данных, для защиты данных от происков всякого рода вирусов, ИСС предполагает ведение собственной подсистемы архивации имеющихся баз данных и программ обработки информации.

Схема взаимодействия компонентов ИСС представлена на рисунке 1 .



Рисунок 1 Принципиальная схема ИСС “Мониторинг и аудирование состояния окружающей среды (объекта - региона)”.

Программа реализуется средствами языка Visual Basic 5.0, и рассчитана на работу под управлением MS Windows 95.

Практическая реализация ИСС “Мониторинг и аудирование состояния окружающей среды (объекта - региона)” требует проведения следующих экспериментально-поисковых и организационно-технических работ, связанных со сбором, обобщением, систематизацией и формированием фоновых таблиц данных:

- фактического состояния природного комплекса в зонах эксплуатируемых промышленных, сельскохозяйственных объектов и населенных пунктов, в целом;
- по коротковолновой суммарной солнечной радиации на исследуемой и сопредельных территориях;
- по альбедо подстилающей поверхности, эффективному излучению, отражённой и поглощенной солнечной радиации;
- по адвективному тепловлажнопеносу (адвекция тёплых и холодных воздушных масс на исследуемую территорию);
- по теплообмену в деятельном почвенном слое (теплоемкость почв, температурный режим, фазовые превращения воды и выявленные циклы перехода  $1^{\circ}\text{C}$  через нуль, затраты тепла на фазовые превращения воды );
- по почвенному покрову, генезису почв, физико-механическому, химическому составу, агрогидрологическим свойствам, фактическим влажностям почв и загрязнителям;
- по подстилающим почвенный покров породам;
- по гидрогеологическим характеристикам исследуемой территории (почвенно-грунтовые, грунтовые, подземные воды, их природа, запасы, дебиты, динамика водообмена, горизонтальный и вертикальный переток - гидравлические связи, участие этих вод в формировании водного режима испаряющего слоя);
- по гидрометеорологическим, тепловоднобалансовым и гидромелиоративным характеристикам исследуемой и сопредельных территорий;
- по аналитическим связям основных характеристик загрязняющих веществ в системах водоотведения и вентиляции на характерных производственных комплексах страны;
- по результатам пространственно - временного анализа, с привлечением опытных (экспериментальных) данных, уровней радиоактивной загрязненности сельскохозяйственных территорий в зоне влияния Чернобыльской катастрофы;
- по гидрологическому режиму водотоков и водоемов на исследуемой территории;
- по хозяйственно - экономическим показателям предприятий народного хозяйства на исследуемой территории (для базовых лет);
- по результатам разработки, с привлечением массовых гидролого - климатических характеристик, ПЭВМ и методов математического моделирования, экологизированных принципов размещения производственных объ-

ектов в регионе, как основы имитационных моделей безопасного их взаимодействия с природным комплексом.

В заключение отметим, что вообще, крайне необходимо завершить разработку следующих теоретических аспектов, служащих сферой постоянного внимания нашего творческого коллектива:

- методов качественной и количественной оценки состояния природной Среды на эксплуатируемых объектах народного хозяйства и прилегающих к ним территориях (компоненты природной Среды и определяющие факторы антропогенного воздействия на природные комплексы, задачи по их сохранению и восстановлению);

- методов обобщения производственного опыта безопасного взаимодействия человека с окружающей Средой в реальных (аналоговых) хозяйственно - экономических условиях;

- метода комплексной и теоретической оценки гидролого - климатических условий и тепловоднобалансовых характеристик регионов для природоохранных целей;

- способов анализа, пространственно - временной интерпретации, описания статистической структуры и графоаналитического представления исходных гидрометеорологических данных и тепловоднобалансовых характеристик (с использованием ПЭВМ);

- способов оценки точности массовых расчетов гидролого - климатических и тепловоднобалансовых характеристик в процессе моделирования полей их статистических структур;

- комплексного метода оценки гидролого - климатических и эколого - хозяйственных условий для природоохранных целей при размещении в регионе производственных объектов, позволяющего осуществить - практическое описание тепловлагомассообмена в системе - атмосфера - подстилающая поверхность - почвогрунты - почвенногрунтовые (подземные) воды, влажностей почвогрунтов - интегральной характеристики естественной увлажненности земель;

- способа моделирования внутригодового хода почвенных влагозапасов, исходя из их пространственно - временной динамики, оптимальных требований различных видов хозяйственной деятельности на больших территориях и рекреации, с учетом экологической безопасности природного комплекса, в целом, и его компонентов, в частности;

- совместного анализа гидролого-климатических, тепловоднобалансовых и гидрогеологических показателей (характеристик) на землях, использу-

мых под строительство производственных комплексов;

- совместного анализа гидролого-климатических, тепловоднобалансовых и гидрогеологических показателей (характеристик) на территориях, испытывающих радиоактивное загрязнение и заражение стоками животноводческих комплексов;

- гидролого-климатического и эколого-мелиоративного обоснования направлений освоения земель, подверженных радиоактивному загрязнению и заражению стоками животноводческих комплексов;

- моделирования экологически безопасных режимов гидромелиораций при освоении больших территорий (в зоне размещения крупных производственных объектов);

- решения проблем водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий;

- решения проблем влияния утилизируемых стоков на поверхностные воды;

- оценки процесса влагопереноса в атмосфере и распространения загрязнений в гидросфере Земли;

- оценки связи поверхностного и подземного водосборов и границ водохозяйственных (экологически опасных) зон населенных пунктов, производственных и сельскохозяйственных комплексов в осваиваемых регионах;

- учета взаимовлияния производственных комплексов и их суммарного влияния на природную Среду.

## ОЦЕНКА ВКЛАДА ТОЧЕЧНЫХ И РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ РЕЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО БАЛАНСА

**В.Н. Плужников**, Г.А. Щербаков

Лаборатория гидрологии, ЦНИИКИВР  
Минск, Республика Беларусь

*Приводятся разработанные для практического использования рекомендации по составлению гидрохимических балансов участков и бассейнов рек, раскрываются способы оценки вклада точечных и рассеянных источников загрязнения вод, а также оценки их самоочищения; результаты иллюстрируются расчетами и данными по реке Мухавец.*

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ, БАЛАНС, ТОЧЕЧНЫЕ, РАССРЕДОТОЧЕННЫЕ, ИСТОЧНИКИ, ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Надежное установление причин, приводящих к загрязнению вод, имеет большое значение для выбора основных направлений водоохранной деятельности. Этим целям должен служить гидрохимический баланс бассейна или участка реки, составленный на основе автономного определения составляющих.

Пока, балансовые расчеты в указанном виде не получили развития, что препятствует правильному решению проблем охраны вод от загрязнения с позиций получения максимального экологического эффекта от проведения текущих водоохранных мер и разработки стратегических направлений в этой области.

К настоящему времени, нами разработаны практические рекомендации и составлены гидрохимические балансы по всем основным рекам республики с выделением репрезентативных бассейнов и участков, отличающихся типовым составом и удельным весом отдельных элементов.

Балансы химического стока произвольного участка реки являются разновидностью условия сохранения массы загрязняющего (определяющего качество воды) вещества на выбранный интервал времени. Они сводятся к определению и сопоставлению всех составляющих статей поступления и расходования этого вещества. Балансы должны составляться для всего набора веществ, признанных вредными или обязательными для оценки качества речной воды.

Полное уравнение гидрохимического баланса, имеющее значение для постановки объективного мониторинга качества вод, мы не приводим, ограничиваясь практической версией, по которой подготовлены все необходимые процедуры получения данных

$$W_{\text{кон}} = W_{\text{нач}} + W_{\text{ст}} + W_{\text{рр}}^y + W_{\text{рр}}^c - W_{\text{вв}} \pm W_{\text{гос}} \quad (1)$$

где  $W_{\text{нач}}$   $W_{\text{кон}}$ , - поступление массы вещества через начальный (верхний) створ и его убыль через конечный (нижний) створ участка реки;  $W_{\text{ст}}$  - масса вещества, поступающего со сточными водами;  $W_{\text{рр}}^y$  - смыв загрязнений с урбанизированных территорий;  $W_{\text{рр}}^c$  - то же, с остальной промежуточной водосборной площади (сельскохозяйственных районов);  $W_{\text{вв}}$  - редукция

массы вещества под воздействием внутриводоемных процессов (эффект самоочищения);  $W_{нев}$  - невязка баланса.

Последний элемент характеризует совокупную погрешность расчета по разнице

$$W_{кон}^{изм} - W_{кон}^{выч} = \pm W_{нев}, \quad (2)$$

где  $W_{кон}^{изм}$ ,  $W_{кон}^{выч}$  - измеренная и полученная расчетом (по данным об элементах  $W_{нач}$ ,  $W_{ср}$ ,  $W_{рр}^y$ ,  $W_{рр}^c$ ,  $W_{вв}$ ) масса вещества в конечном створе участка.

Допустимая величина невязки при известных значениях среднеквадратических ошибок определения элементов баланса может находиться по доверительному интервалу обеспеченностью 95%.

При отсутствии таких данных, по всем элементам баланса рекомендуется более простая оценка

$$\delta_{нев} = (W_{кон}^{изм} - W_{кон}^{выч}) * 100\% \leq \varepsilon, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  - априорно принятая, допустимая погрешность балансового расчета.

Рассмотрим рекомендуемые способы определения всех составляющих баланса (1).

Величины  $W_{нач}^{изм}$ ,  $W_{кон}^{изм}$ , если не проводились специальные исследования на данной реке, необходимо принимать по официальным данным (изданиям и системам государственного водного кадастра РБ), которые в настоящее время имеются для ограниченного количества створов, что автоматически снижает перечень бассейнов участков рек, где возможно составление балансов. Необходима только тщательная увязка реального гидрографа стока с измерениями концентрации данного вещества 7...12 раз в течение года.

Элемент  $W_{ср}$  извлекается из действующей (разработка ЦНИИКИВР) АИС ГВК "Статотчетность водопользования". Необходимо, при этом, обеспечить корректное формирование запроса в систему по кодам начального и конечного створов изучаемой реки.

Показатель  $W_{рр}^y$  определяется, если проведены эксперименты по конкретному городу, из опыта (с учетом метеоусловий года). Но его можно определять и расчетом по методике Н.А. Правошинского [1]. Необходимые

для этого исходные данные по урбанизированным площадям, расчетному слою осадков, коэффициенты стока обычно достаточно известны.

Вынос загрязняющих веществ с водосбора ( $W_{pp}^c$ ) зависит от его структуры (распаханность, лесистость и др.), мелиоративного переустройства, вносимых удобрений, плотности скота, числа сельских жителей, режима атмосферных осадков, рельефа, почв.

Для получения элемента  $W_{pp}^c$  конкретного водного бассейна, рекомендуется применение множественного регрессионного анализа и установления значимости (вклада) перечисленных факторов в уравнениях связи с химическим стоком реки (с исключением или, что лучше, отсутствием сбросов сточных вод на участке). Такие связи, нами получены по бассейнам типичных малых рек для различных районов республики и рекомендуются для практических расчетов [2].

Оценка эффекта самоочищения в реке состоит в определении коэффициентов редукции ( $r < 1$ ), зависящих от вида вещества, времени его пребывания в потоке, температуры воды. Их обычно представляют в виде

$$r_i = 10^{-\alpha_i(T)^{\tau}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_i(T)$  - полученный из опыта параметр для данного  $i$ -го вещества при температуре воды  $T^\circ \text{C}$ , сутки<sup>-1</sup>;  $\tau$  - время перемещения вещества с речной водой от створа поступления до конечного створа, сутки.

Параметр  $\alpha_i(T^0)$  варьируется не только по видам веществ, но, в статистических условиях, и в потоке, зависит от погоды, сезона года, гидробиологического режима, гидравлических условий, русловых процессов и т.д. Поэтому, надежных методов его априорной оценки не существует. Вместе с тем, процессы самоочищения, как показывает наш анализ гидрохимических материалов по рекам республики, могут сыграть существенную роль по своему вкладу в гидрохимический баланс. В связи с этим, рекомендуется использовать хотя бы литературные данные [1,2 и др.]. Мы также рекомендуем, в случае отрицательной невязки баланса (1) без элемента  $W_{вв}$ , условно относить эту невязку к самоочищению (исходя из взаимной компенсации отдельных погрешностей), и, решением обратной задачи, оценивать параметр  $\alpha_i$ . Пробные расчеты по ряду рек Беларуси, этим способом, дали вполне удовлетворительные результаты, не уступающие литературным

данным и характеризующие конкретный водоток.

Проиллюстрируем это на примере составления гидрохимического баланса р. Мухавец на уровне 1995 г. по показателю биохимического потребления кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>). Выполненные нами расчеты за годовой период дали следующую оценку элементов баланса (1) в т/год:  $W_{cp} = 100$ ;  $W_{pp}^y = 239$ ;  $W_{pp}^c = 2711$ ;  $W_{кон}^{изм} = 2424$ ;  $W_{кон}^{выч} = 3049$ ;  $(W_{исв} + W_{вв}) = -625$ .

Так как элементы  $W_{cp}$  и  $W_{pp}^y$ , в основном, приурочены к устью реки, где расположен г. Брест, эффект самоочищения оценен в отношении элемента  $W_{pp}^c$ . Он характеризует бассейн реки Мухавец, в целом, и, поэтому, в расчет принято среднее время добегания, составляющее, примерно 1,3-1,5 сут. Коэффициент редукции по балансовым данным определяем как,  $r = 2424/3049 = 0,77$ .

При  $r = 0,77$ , по формуле (4) произведение  $\alpha_i(T) \cdot \tau = 0,12$ , откуда  $\alpha_i(T) = 0,080-0,091$ , в зависимости от оценки времени  $\tau$ . По имеющимся рекомендациям, при средней годовой температуре Брестской области 6,7 [3], параметр самоочищения по показателю БПК<sub>5</sub> принимается в размере 0,078 [2]. Как видно, результаты вполне сопоставимы и, таким образом, приведенный способ может быть рекомендован для ориентировочной оценки значимости процессов самоочищения речных вод в наших условиях. Что касается вклада точечных и рассредоточенных источников в загрязнение вод, то из приведенных выше данных по Мухавцу видим, что последние превышают обычно регистрируемый сброс загрязняющих веществ со сточными водами, практически, на порядок. Такое соотношение имеет место и во всех других крупных речных бассейнах.

### Литература

- 1 Использование и охрана малых рек. - Мн.: Ураджай, 1989, с. 94-95.
- 2 Комплексная оценка использования и охраны водных ресурсов Западного Буга, Днепра, Припяти, Немана и Западной Двины. - Мн., 1997 (Отчет ЦНИИКИВР. Прил. 2, с.12-13).
- 3 Климат Беларуси / под ред. В.Ф. Логинова. -Мн.: ИГН НАНБ, 1986, с.61.

## **ПРОГНОЗ УВЛАЖНЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ВОДОХРАНИЛИЩАМ, В УСЛОВИЯХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

**Н.Н. Водчиц**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Приведены результаты исследования по прогнозу увлажненности земель, прилегающих к водохранилищам, в зоне Белорусского Полесья.*

**ПРОГНОЗ, УВЛАЖНЕННОСТЬ, ВОДОХРАНИЛИЩЕ, БЕЛОРУССКОЕ, ПОЛЕСЬЕ**

Территория Белорусского Полесья находится в зоне неустойчивого увлажнения, и для получения высоких, устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур требуется регулирование стока путем его накопления в прудах и водохранилищах. Схемой осушения и освоения Полесской низменности (1968г.) предусмотрено построить 17 водохранилищ, 19 рыбхозов, 410 прудов, общей емкостью 1558 млн.м<sup>3</sup> и площадью водного зеркала 105 тыс.га.

В связи с созданием, в условиях плоского рельефа Полесья, прудов и водохранилищ, уровни воды в которых находятся, как правило, выше поверхности прилегающих земель, в ряде случаев не учитываются в полной мере масштабы сопутствующих нежелательных процессов и не предупреждается их вредное воздействие, что наносит серьезный ущерб народному хозяйству. При создании на территории Полесья водохранилищ, необходимо решить проблему их экономической и хозяйственной целесообразности, осуществить защиту земель от подтопления, площади которых только в зоне водохранилищ и рыбхозов, достигнут более 6 тыс.га, рационально использовать водные ресурсы.

Выполненные исследования показывают, что увлажненность земель в зоне прудов и водохранилищ формируется в тесной зависимости от гидрологических, гидрогеологических, климатических и антропогенных факторов. Интенсивность и масштабы подтопления зависят от геологического строения ложа и уровня режима водохранилищ. Причем, влияние подтопления на увлажненность деятельного слоя почвы оказывается через повышение уровней грунтовых вод на глубину менее 1 м от поверхности. В

свою очередь, режим грунтовых вод связан с различными формами их движения и соотношениями балансовых элементов (питание, сток, испарение).

Режим грунтовых вод, в естественных условиях Полесья, формируется под действием двух групп факторов. В одну из них входят геолого-геоморфологические и гидрологические особенности исследуемого объекта, в другую - гидрогеологические и метеорологические условия исследуемого района.

*Первая группа факторов* определяет условия залегания водоносного горизонта, его строение, мощность, характер зоны аэрации, водопроницаемость и водоотдачу грунтов, степень и характер гидравлической связи с естественными водотоками или водоемами. В условиях хозяйственной деятельности человека, как показывают наши исследования, обнаруживается тесная взаимосвязь режимов грунтовых вод и эксплуатируемых прудов и водохранилищ. Здесь имеются в виду такие основные гидрологические параметры потока: среднее значение водоотдачи или недостатка насыщения, коэффициенты фильтрации и др. В естественных условиях влияние этих факторов на режим грунтовых вод постоянно и незначительно изменяется во времени.

*Из второй группы факторов* наибольшее влияние на режим грунтовых вод оказывает характер выпадения и количество атмосферных осадков, термические условия, гигрометрическая напряженность приземного слоя воздуха и влажность почвы. В условиях хозяйственной деятельности, на режим грунтовых вод оказывает существенное влияние гидрологический режим водохранилищ и прудов. Факторы второй группы, в целом, динамично изменяются как в годовом, так и в многолетнем разрезе, определяют особенности режима грунтовых вод и, наряду с тепловлагообеспеченностью, - увлажненность подтопленных земель.

Для прогноза подтопления земель, находящихся в зоне влияния водохранилищ, изучался естественный режим грунтовых вод, который способствует решению практических задач народного хозяйства и, кроме того, позволяет количественно и качественно оценить процесс формирования режима грунтовых вод в зоне предполагаемого подтопления. При этом, особый интерес представляет изучение пространственно-временного изменения уровней, кривых свободной поверхности грунтовых вод и др.

Для определения элементов водного баланса подтопленных территорий, прежде всего, необходимо оценить прогнозное положение депрессионной кривой грунтовых вод. Для определения ее положения необходимо знать:

длину расчетного участка ( $l$ ); мощность водоносного горизонта; исходное положение естественного уровня грунтовых вод на расчетном участке; положение уровней на границах участка и изменение этих уровней в продолжении всего рассматриваемого периода.

Как показали исследования, проведенные нами на ряде объектов Белорусского Полесья, режим грунтовых вод подтопленных территорий, находится в тесной зависимости от уровней воды в прудах и водохранилищах. Подтопление земель, прилегающих к водохранилищам или прудам, может происходить по трем основным схемам:

1) Уровни воды в водохранилище выше поверхности земли и, естественно, уровней грунтовых вод. Тогда уравнение депрессионной кривой можно записать в виде

$$\nabla H_x = \sqrt{\nabla H^2 + (\nabla H_2^2 - \nabla H_1^2) \frac{l-x}{l}}, \quad (1)$$

где  $\nabla H_x$  - абсолютная отметка искомой точки кривой депрессии, установившейся после наполнения водохранилища, м;  $\nabla H$  - абсолютная отметка кривой депрессии в естественных условиях в искомой точке створа, м;  $\nabla H_1, \nabla H_2$  - абсолютные отметки уровней воды в водохранилище до затопления и на рассматриваемый момент времени, м;  $l$  - расстояние от уреза водохранилища до первого водотока или до водораздельной точки, м;  $x$  - расстояние от уреза водохранилища до искомой точки створа, м;

2) Для случая, когда уровни воды ниже поверхности прилегающей территории и подтопление происходит за счет подпора водохранилищем естественного потока. Кривую депрессии можно охарактеризовать как

$$\nabla H_x = \sqrt{\nabla H_2^2 + (\nabla H_3^2 - \nabla H_2^2) \frac{x}{l}}, \quad (2)$$

где  $\nabla H_3$  - абсолютная отметка прилегающего к водохранилищу грунтового потока на линии водораздела, м. Остальные обозначения прежние;

3) При подтоплении земель фильтрационными водами из водохранилища и одновременном подпоре грунтового потока

$$\nabla H_x = \frac{1}{2} \sqrt{\nabla H^2 + (\nabla H_2^2 - \nabla H_1^2) \left( \frac{1-x}{1} \right)^2} + \frac{1}{2} \sqrt{\nabla H_2^2 + (\nabla H_3^2 - \nabla H_2^2) \frac{x^2}{1^2}}, \quad (3)$$

Так как повышение уровней грунтовых вод, в данном случае, вызывается одновременным действием двух факторов, натурные исследования позволили учесть их влияние именно таким уравнением.

Исследование изменения режима грунтовых вод позволило заменить зависимости 1...3 более простым уравнением

$$h_x = \Delta h \left( \frac{1-x}{1} \right)^2, \quad (4)$$

$$h_x = (\Delta h - \Delta h') \left( \frac{1-x}{1} \right) + \Delta h', \quad (5)$$

$$h_x = \Delta h \left( \frac{1-x}{1} \right)^2 + \Delta h' \frac{x^2}{1^2}, \quad (6)$$

где  $h_x$  - предполагаемое (прогнозное) повышение уровня грунтовых вод в рассматриваемой точке створа, м;  $\Delta h, \Delta h'$  - повышение уровней воды в водохранилище и на водоразделе, м.

Достоверность приведенных уравнений для прогноза кривой депрессии подтверждается натурными наблюдениями по створам колодцев (рисунки 1 и 2) на существующем водохранилище "Красная Слобода). Расхождение измеренных результатов положения кривой депрессии с прогнозом составили, в среднем  $\pm 8$  см.

После определения положения прогнозной кривой депрессии, выделяется зона подтопленных земель. Определяется она простым вычитанием, от отметок поверхности земли - отметок поверхности грунтовых вод. Где эта разность меньше 1 м от поверхности, там сельскохозяйственная территория считается подтопленной.

Решая в дальнейшем уравнения водного и теплового балансов, с учетом прогнозного положения грунтовых вод (метод гидролога-климатических расчетов, предложенный профессором В.С. Мезенцевым), можно определить увлажненность подтопленных земель в будущем. Такой расчет требует затрат времени и использования ЭВМ.

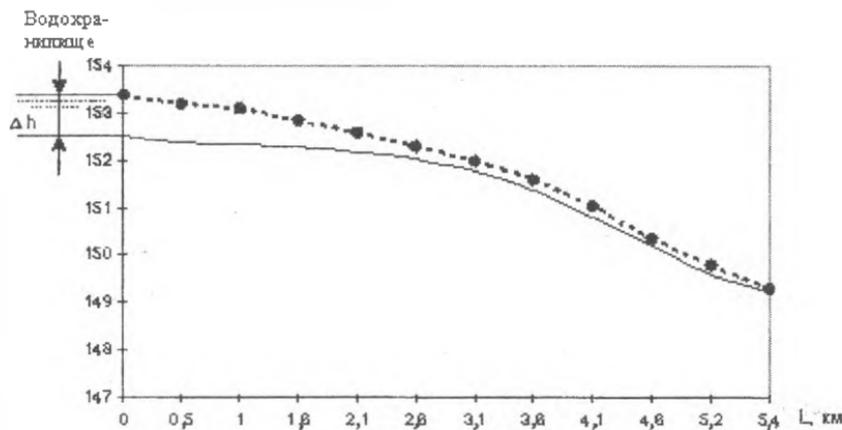


Рисунок 1 Прогнозные депрессионные кривые грунтовых вод на объекте "Красная Слобода" (створ №2, уравнение - 6).

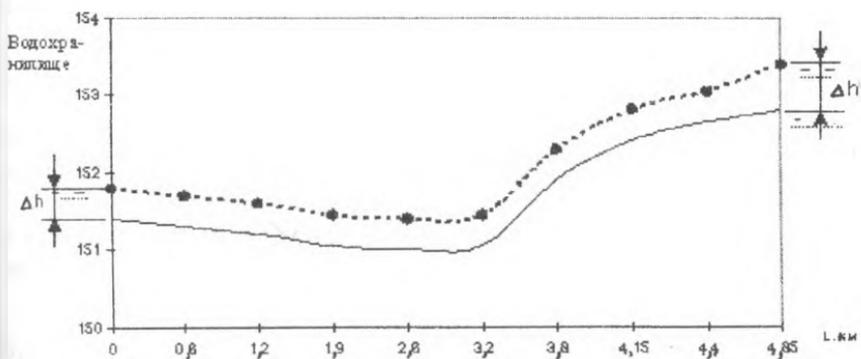


Рисунок 2 Прогнозные депрессионные кривые грунтовых вод на объекте "Красная Слобода" (створ №3, уравнение - 4).

Анализ, полученных такими расчетами, результатов позволил предложить более простые зависимости прогнозной оценки увлаженности подтопленных территорий. Так, для среднееголетнего года избытки влаги на подтопленной территории можно оценить по зависимости

$$M_r = 6 W_{нв} - z_m, \text{ мм в год,} \quad (7)$$

а для периода наибольшего водопотребления растений (май-август) по зависимости

$$M_d = 3,8 W_{нв} - z_{мл}, \quad (8)$$

где  $M_r$  и  $M_d$  - гидромелиоративная норма, соответственно, за год и за период май-август, мм;  $W_{нв}$  - наименьшая влагоемкость почвы, мм;  $z_m$  и  $z_{мл}$  - максимально возможное испарение за средний год и за теплый (май-август) период, мм.

Исследования показали, что величина  $z_m$  для юга Белорусского Полесья составляет, в среднем, 800 мм/год, для средней его части - 780 мм/год и для северной части - 760 мм/год. За период май-август  $z_m$ , соответственно, составляет 540, 520 и 500 мм. Изменчивость гидромелиоративных норм в условиях подтопления земель водохранилищами, связана с их режимом и находится в тесной зависимости с изменением эквивалента теплоэнергетических ресурсов.

Для определения обеспеченных величин, используем модульный коэффициент ( $K_{p\%}$ )

$$K_{p\%} = C_v \Phi_{p\%} + 1. \quad (9)$$

Влияние на увлажненность подтопленных территорий атмосферных осадков (КХ) учитывается модульным коэффициентом  $K_{p\%}$ , который определяется для равнообеспеченных величин по (9).

Определить гидромелиоративную норму, в случае подтопления территорий в год расчетной обеспеченности, имея  $z_m$  и КХ можно по зависимости

$$M_{rp\%} = [(500 - h_a)\mu + 6W_{нв} - z_m K_{p\%}] K_{p\%}, \quad (10)$$

за летний (май-август) период - по зависимости

$$M_{dp\%} = [0,5(500 - h_a)\mu + 3,8W_{нв} - z_{мл} K_{p\%}] K_{p\%}, \quad (11)$$

где  $\mu$  - водоотдача почво-грунтов;  $h_a$  - средняя мощность зоны аэрации за расчетный период, мм.

Величина зоны аэрации определяется как разность отметок поверхности земли и поверхности прогнозного положения грунтовых вод, рассчитанной по зависимостям (4...6).

Подобная оценка увлажненности подтопленных территорий показывает, что увлажненность сельскохозяйственных земель всецело зависит от хозяйственной деятельности человека, т.е. от водохозяйственного режима создаваемых им водохранилищ.

## ВЫВОДЫ

1) Для прогнозной оценки увлажненности земель, находящихся в зоне влияния водохранилища, необходимо пользоваться формулами 4...6, которые с достаточной степенью точности определяют положение грунтовых вод в любой точке рассматриваемого створа, а затем по 9...10 - определить мелиоративную норму;

2) Для интенсивного сельскохозяйственного использования подтопленных водохранилищами и прудами земель, требуется выполнить комплекс гидромелиоративных мероприятий. В первую очередь, необходимо ограждать подтопленную территорию от поступления фильтрационных вод из водоемов и грунтовых вод с прилегающих территорий.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЛАРУСИ ПО ЦЕЛЯМ И ХАРАКТЕРУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ И ДРУГИХ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

**Б.В. Фащевский**

Институт современных знаний  
Минск, Республика Беларусь

*Предлагаются новые классификации водных объектов Беларуси по целям и характеру использования их водных ресурсов, базирующиеся на расширенных оценках качества вод по сапробности и токсобности.*

**ВОДНЫЕ, ОБЪЕКТЫ, ВОДОТОКИ, ВОДОЁМЫ, ОЧЕНЬ ЧИСТАЯ, ВОДА, ЧИСТАЯ ВОДА, УМЕРЕННО-ЗАГРЯЗНЕННАЯ, ВОДА, ГРЯЗНАЯ ВОДА**

Классификация водных объектов по целям использования их водных ресурсов представляется следующим образом:

1) Водные объекты, используемые для поддержания естественного природного ландшафта и охраны природы - это водотоки и водоемы с очень

чистой водой в районах заповедных территорий, заказников и национальных парков;

2) Водные объекты, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения - это водотоки и водоемы с очень чистой и чистой водой, обеспечивающие питьевой водой городское и сельское население, фермы и животноводческие комплексы, пищевую и другие отрасли промышленности, в технологических процессах, которым требуется вода высшего качества;

3) Водные объекты, используемые для коммунально-бытовых нужд, а также купания, подводного плавания и спортивного рыболовства - это водотоки и водоемы с очень чистой, чистой и умеренно-загрязненной водой.

Очень чистые и чистые воды должны использоваться для купания, подводного плавания, спортивного рыболовства, учебного и парусного спорта, для наполнения бассейнов, обеспечения работы бань, полива клумб и др.

Водные объекты с умеренно-загрязненной водой могут использоваться для гребного и парусного спорта, полива городских насаждений, дорог и т.п.;

4) Водные объекты, используемые для коммерческого рыборазведения и дичеразведения - это водотоки и водоемы с очень чистой, чистой и умеренно загрязненной водой. Водные объекты с очень чистой и чистой водой должны использоваться для разведения ценных видов ихтиофауны, требовательных к качеству воды (лососевые, сиговые, осетровые, судак и др. ).

Водные объекты с умеренно-загрязненной водой могут использоваться для разведения ихтиофауны с низкой требовательностью к качеству воды (каarp, карась, линь, голавль ), а также для разведения полуводных, околоводных млекопитающих и птиц;

5) Водные объекты, используемые для развития теплоэнергетики - это водотоки и водоемы с очень чистой, чистой и умеренно загрязненной водой. Вода этих водных объектов может использоваться для теплоэнергетического снабжения жилой застройки, промышленных предприятий и общественных зданий, а также в качестве прудов-охладителей ГРЭС, ТЭС, АЭС и разведения в них теплолюбивых гидробионтов - тропической креветки, толстолобика, амура и т.д.;

6) Водные объекты, используемые для промышленного водоснабжения - это водотоки и водоемы с очень чистой, чистой, умеренно загрязненной и грязной водой.

Вода водных объектов с очень чистой и чистой водой должна использоваться только в отраслях, требующих воду высокого качества.

Для технического водоснабжения, связанного с использованием воды в качестве хладагента, а также при использовании воды для гидродобычи в шахтах, разрезах и рудниках рекомендуется использовать умеренно загрязненную и даже грязную воду.

Водно-моторный спорт также должен развиваться на водных объектах с умеренно загрязненной и грязной водой;

7) Водные объекты, используемые для развития гидроэнергетики - это водные объекты практически с любым качеством воды (за исключением заповедных), от очень чистых до грязных. Однако, для водных объектов с очень чистой и чистой водой использование их для развития гидроэнергетики допускается только при условии ненарушения их качества и нанесения ущерба проходным и полупроходным рыбам;

8) Водные объекты, используемые для орошения и отведения - это водотоки и водоемы с очень чистой, чистой, умеренно загрязненной и грязной водой.

Водные объекты с очень чистой и чистой водой разрешается использовать для орошения овощных и зеленых культур, а также водопоя скота и специально оборудованных поилок.

Водные объекты с умеренно загрязненной и грязной водой рекомендуется использовать для орошения технических и зерновых культур.

Классификация водных объектов по характеру использования их природных ресурсов:

1) Водные объекты, вода которых используется как вещество с определенными свойствами - это в основном водоисточники с минерализованной водой;

2) Водные объекты, донные отложения которых используются в сельском хозяйстве, бальнеологии и рекреации - это объекты, донные отложения которых применяются как удобрения, как лечебные грязи и т.п.;

3) Водные объекты, вода и процессы в акватории которых используются в качестве энергетического потенциала за счет естественного и искусственного напора, применения ветроустановок, за счет использования разности температур воды и воздуха и т.п.;

4) Водные объекты, вода которых как ресурс используется для водоснабжения - хозяйственного, промышленного и сельскохозяйственного и т.п.;

5) Водные объекты, вода которых используется как среда обитания для разведения гидробионтов и околводных птиц и млекопитающих;

б) Водные объекты, вода которых используется как транспортная система - судоходство, сплав леса и др.

## ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

С.С. Стельмашук

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассмотрены вопросы охраны, восстановления и рационального использования ранее мелиорированных земель.*

ОХРАНА, РАЦИОНАЛЬНОЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, МЕЛИОРАЦИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ

В результате произведенной инвентаризации мелиорированных земель только в Брестской области выявлено более 160 тыс. га ранее осушенных земель, нуждающихся в первоочередной реконструкции. Эти земли в процессе длительной эксплуатации и несвоевременного проведения ремонтных работ пришли в негодность. Продуктивность таких угодий низкая. Выполняемые объемы работ по Брестской области по капитальному ремонту межхозяйственной сети составляют 43% от потенциального объема, по ремонту внутривладельческой сети - 22%, по ремонту закрытого дренажа - 33%, эксплуатационной планировке - 27%, глубокому рыллению и кротованию - 5%.

Только из-за невыполненных работ по глубокому рыллению и кротованию, значительная часть площадей ежегодно подтапливается, что сказывается на недоборе урожая сельскохозяйственных культур.

На охрану и рациональное использование земель объединению "Брестмелиоводхоз" в 1977 году выделено основных фондов 32083 млн. руб., из них: капитальных вложений - 51670 млн. руб. (освоено 40766 млн. руб.); строймонтаж составлял 34970 млн. руб. (освоено 26509 млн.руб.).

На противопаводковые мероприятия в поймах рек Горынь и Припять выделено основных фондов 40363 млн. руб., капитальные вложения по плану составляли 50031 млн. руб., строймонтаж по плану был 35220 млн. руб., освоено - 24 809 млн.руб.

На реконструкцию и мелиоративное улучшение земель по объединению "Брестмелиоводхоз" по плану было выделено в 1997 году 51670 млн. руб., в том числе: на реконструкцию 14972 млн. руб., мелиоративное улучшение, добычу сапропелей и выращивание клоквы - 36698 млн. руб.

Больше всего средств на реконструкцию мелиорированных земель по Брестской области было выделено Ивановскому району, что составило 592 млн. руб., Пинскому - 557 млн. руб., а таким районам как Березовский, Брестский, Дрогичинский, Жабинковский, Ивацевичский, Каменецкий, Ляховичский и Столинский, вообще, средств на реконструкцию не выделялось.

На охрану и рациональное использование земель было запланировано основных фондов, капитальных вложений и строймонтажа, соответственно: Лунинецкому району - 6160, 7864 и 5481 млн. руб., Столинскому району - 5080, 5370 и 3743 млн. руб.; Дрогичинскому - 3956, 5595 и 4900 млн. руб.; Ивановскому - 2983, 7421 и 5172 млн. руб. Остальным районам значительно меньше и это связано с тем, что, выше указанные районы, значительно больше загрязнены радионуклидами.

Выделение средств на мелиорацию по Республике Беларусь определилось следующим образом: по Брестмелиоводхозу за счет республиканского бюджета - 66603 млн. руб.; Пинская ОДВС - 16699 млн. руб., в том числе, за счет областного бюджета - 10500 и ЧАЭС - 6199 млн. руб.; по Витебскмелиоводхозу - 82596 млн. руб., в том числе, за счет республиканского бюджета - 46578, областного бюджета - 32518 и прочих источников финансирования - 3500 млн. руб.; по Гомельмелиоводхозу - 75727 млн. руб., в том числе из республиканского бюджета - 66587 и областного бюджета - 9140 млн. руб.; по Гродномелиоводхозу - 48255 млн. руб., в том числе, из республиканского бюджета - 35418 и областного бюджета - 12837 млн. руб.; по Минськмелиоводхозу - 97885 млн. руб., в том числе, из республиканского бюджета 64845, областного - 8390 и прочих источников финансирования 24650 млн. руб.; по Могилевмелиоводхозу - 78633 млн. руб., в том числе, из республиканского бюджета - 42956, областного - 17435 и прочих источников финансирования - 18242 млн. руб..

Новое мелиоративное строительство обходится в 3,5 раза дороже, по сравнению с реконструкцией.

К примеру, в колхозе "Лесковичи" Березовского района проведена реконструкция осушительной системы. Если до реконструкции, получали 2,0 тонны зерновых с одного гектара, кормовых корнеплодов - 10 тонн, много-

летних трав на сено - 2 тонны, то после реконструкции продуктивность мелиорированного гектара увеличилась на 60...100%.

Следовательно, в настоящий момент необходимо наращивать объемы реконструкции земель. Только в Брестской области, нуждается в реконструкции открытая межхозяйственная сеть, протяженностью 829 км, внутрихозяйственная сеть, протяженностью 3341км. Техническое обслуживание мелиоративной сети по договорам с ПМС осуществляется только на 282393 га. Остро встает проблема оздоровления земель, загрязненных радионуклидами. В сложившейся социально - экономической обстановке, необходим новый концептуальный подход к развитию мелиорации и водного хозяйства, который обеспечивал бы оптимальное сочетание различных видов мелиорации при дифференцированном проведении мелиоративных мероприятий по каждому региону, хозяйству, полю, участку земли на основе передовых технологий, обеспечивающих высокопродуктивное и экологически чистое сельскохозяйственное производство.

#### Литература

1 Годовой отчет по использованию мелиорированных земель в Брестской области за 1997 год, "Брестмелиоводхоз", Брест, 1997.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ – ПРИЗНАКОВ ЛАНДШАФТНО- МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

**В.Г. Федоров, П.В. Шведовский**

Строительный факультет, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Исследована динамика основных эколого-социально-экономических свойств-признаков ландшафтно-мелиоративных преобразований под воздействием природной и антропогенной нагрузки.*

**ДИНАМИКА, ЭКОЛОГИЯ, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СВОЙСТВА-  
ПРИЗНАКИ, ЛАНДШАФТНО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Преобразование ландшафта, т.е. перевод его из одного динамического и функционального состояния в другое, более продуктивное и природоохранное, возможно самыми различными средствами: мелиорация, сельскохозяй-

ственное производство, лесонасаждение и лесовосстановление, рекультивация земель, культивирование новых агрофито- и зооценозов, изменение баланса вещества и энергии в геосистемах, создание территориальных производственных комплексов, строительство различных инженерных комплексов и сооружений и др.

При этом, преобразованный ландшафт должен выполнять ресурсопродуктивные и средоформирующие функции, т.е. быть способным к самоорганизации, самоочищению, саморазвитию, саморегулированию и сохранению биологической продуктивности.

Отсюда, в соответствии с имеющимися исследованиями и требованиями, определенными рекомендациями по охране окружающей Среды, наиболее достоверными и значимыми являются следующие свойства-признаки:

- репродукционная способность территории по биологической продуктивности почвенно-растительного покрова ( $X_5$ );
- комплексный показатель эффективности почвенного плодородия ( $X_6$ );
- степень антропоустойчивости территории (сопротивляемость ландшафтов) к антропогенным нагрузкам ( $X_7$ );
- степень нарушения равновесия экологических функций (антропоактивность основных элементов) природной Среды ( $X_8$ );
- демографическая частная емкость по рекреационным ресурсам ( $X_9$ );
- уровень критического воздействия на динамику и структуру основных элементов ландшафта ( $X_{10}$ );
- интенсивность развития основных негативных процессов в природной Среды ( $X_{11}$ );
- степень пригодности и качество выполнения ландшафтно-мелиоративными комплексами социально - экологических функций ( $X_{12}$ );
- степень взаимодействия природных и производственных процессов (коэффициент остроты проблемных ситуаций) ( $X_{13}$ );
- степень обратимости антропогенных процессов ( $X_{14}$ );
- уровень реакции ландшафтно-мелиоративных комплексов на систему мероприятий по защите от негативных процессов ( $X_{16}$ );
- удельная репродуктивная способность территории по жизненно важным компонентам биосферы ( $X_{17}$ );
- демографическая емкость территории по обеспеченности водно-земельными ресурсами ( $X_{18}$ );

- степень использования биосферных ресурсов ( $X_{19}$ );
- степень изъятия биосферных ресурсов ( $X_{20}$ );
- степень обеспеченности оптимального уровня комфорта жизни ( $X_{21}$ );
- коэффициент геохимической активности территории ( $X_{22}$ );
- индекс репродукции ( $X_{23}$ );
- индекс экологической емкости ( $X_{24}$ );
- экологическая емкость территории ( $X_{25}$ );
- структурный коэффициент демографической динамики и миграции ( $X_{26}$ );
- уровень генетического груза человеческой популяции ( $X_{27}$ );
- социальный и медико-биологический уровень жизни ( $X_{28}$ );
- вероятность пространственно-временного создания оптимальных социально-экологических условий проживания ( $X_{29}$ );

В качестве технико-экономических показателей нами анализировались:

- 1) удельные капиталовложения на рациональное использование водно-земельных ресурсов ( $X_1$ );
- 2) общая экономическая эффективность капиталовложений ( $X_2$ );
- 3) эксплуатационные издержки и функционирование природоохранных мероприятий ( $X_3$ );
- 4) эксплуатационные издержки и функционирование природовосстановительных мероприятий ( $X_4$ ).

Численные значения технико-экономических и социально-экологических характеристик и свойств-признаков сводно представлены в таблице 1.

Таблица 1 Сводная таблица социально-экологических характеристик и свойств-признаков освоения и использования водно-земельных ресурсов

Период	Экономическая группа				Экологическая группа				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
1965-70	0,30	0,56	0,008	0,001	5,61	4,17	0,93	1,08	4,19
1971-75	0,41	0,62	0,018	0,003	6,82	4,52	0,91	1,10	4,18
1976-80	0,50	0,65	0,028	0,006	7,34	5,06	0,89	1,12	4,39
1981-85	0,74	0,87	0,036	0,013	8,42	5,48	0,88	1,14	4,36
1986-90	0,93	1,04	0,037	0,014	8,47	5,51	0,85	1,18	4,58

Продолжение таблицы 1

Период	Экологическая группа									
	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>
1965-70	0,75	+1,29	0,814	1,64	0,87	0,075	0,063	67,83	12,44	0,153
1971-75	0,75	+0,32	0,806	2,03	0,87	0,112	0,103	67,27	12,18	0,161
1976-80	0,75	-0,64	0,793	2,86	1,43	0,177	0,119	65,84	12,08	0,163
1981-85	0,75	-1,43	0,785	3,19	1,76	0,209	0,187	66,19	11,95	0,171
1986-90	0,75	-2,05	0,782	3,57	2,12	0,245	0,164	65,36	11,86	0,175

Продолжение таблицы 1

Период	Экологическая группа						Социальная группа			
	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>26</sub>	X <sub>27</sub>	X <sub>28</sub>	X <sub>29</sub>
1965-70	0,242	0,49	0,92	0,69	1,96	12,52	1,49	1591,3	4,01	0,59
1971-75	0,258	0,57	0,89	0,67	1,93	13,47	1,32	1491,1	4,09	0,63
1976-80	0,261	0,64	0,82	0,66	1,89	14,19	1,14	1208,6	4,03	0,67
1981-85	0,267	0,65	0,84	0,66	1,73	14,73	1,10	967,8	3,92	0,68
1986-90	0,270	0,67	0,76	0,65	1,74	13,89	0,93	872,9	3,98	0,69

Матрица относительных значений этих характеристик и свойств-признаков приведена в таблице 2. По расчетным периодам характерна следующая динамика признаков: в 1971...1975 гг. 12 улучшились, 6 изменились незначительно и только 7 ухудшились (из 25); в 1976...1980 гг. характерно ухудшение для 9 характеристик; в 1981...1985 гг. дальнейшее ухудшение характерно только для 7, но, затем, в 1986...1990 гг., уже появилось ухудшение 13 характеристик-признаков.

Таблица 2 Матрица относительных социально-экологических характеристик и свойств-признаков освоения и использования водно-земельных ресурсов

Период	Экономическая группа				Экологическая группа				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>
1965-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971-75	+	+	+	+	+	+	+	-	-
1976-80	+	+	+	+	+	+	+	-	-
1981-85	+	+	+	+	+	+	+	-	+
1986-90	+	+	+	+	•	•	+	-	-

Продолжение таблицы 2

Период	Экологическая группа									
	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>
1965-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971-75	-	•	-	-	•	+	+	•	+	+
1976-80	-	-	-	-	-	+	+	-	•	•
1981-85	-	-	•	-	-	+	+	+	•	+
1986-90	-	-	-	-	-	+	•	-	•	•

Продолжение таблицы 2

Период	Экологическая группа						Социальная группа			
	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>26</sub>	X <sub>27</sub>	X <sub>28</sub>	X <sub>29</sub>
1965-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971-75	+	+	-	+	•	+	-	•	+	+
1976-80	•	+	•	+	•	+	-	-	•	+
1981-85	•	•	•	•	-	+	•	-	-	•
1986-90	•	•	-	•	-	-	-	-	+	•

*Примечание:* 0 - базовый уровень; ± - соответственно, улучшение и ухудшение показателя; • - незначимые изменения.

Все это подтверждает правильность представимости устойчивости природной Среды посредством функции экологической надежности, основу которой составляют приведенные выше свойства-признаки.

Отсюда следует, что только углубленное понимание взаимодействий в экосистемах позволит сохранить сложившееся динамическое равновесие в различных компонентах природной Среды.

## ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

**П.В. Шведовский**

Строительный факультет, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассмотрены основные эколого-социальные проблемы и аспекты мелиоративно-ландшафтных преобразований.*

## ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНЫЕ, ПРОБЛЕМЫ, МЕЛИОРАЦИЯ, ЛАНДШАФТ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Сегодня большинство исследований в мелиоративной науке [1,2,3 и др.] посвящено тем или иным эколого-экономическим проблемам. Проблемам социальной экологии уделяется очень незначительное внимание.

Социальная экология, рассматривая системные связи человека с природной Средой (социальная экосистема), является многоуровневой - от микросистем (один индивид) до макросистем (отдельное сообщество и все человечество).

Социальная экосистема, как функциональная структура, базируется на взаимоотношениях, взаимосвязях и причинно-следственных отношениях компонентов, определяющих способность сохранять ее прогрессирующее равновесие. При этом, любое ухудшение экологической ситуации влияет на социальную экосистему двояко: опосредованно, через окружающую природу как источник материальных ресурсов и как Среду обитания человека, и, непосредственно на самого человека - на его физическое развитие, психику, физиологические функции, производительность труда и т.д.

Но так как социальный прогресс невозможен без воздействия общества на природу, являющуюся, одновременно, и естественной Средой жизни людей, и единственным источником удовлетворения материально-духовных потребностей, то, очевидно, сохранение ее в первозданном виде невозможно. Но, при этом, организация производственной деятельности должна быть такой, чтобы изменения окружающей Среды не только не выходили за пределы адаптационных возможностей человека, но и обеспечивали бы сохранение биосферы в оптимальном, для жизни людей, состоянии.

Нужно также иметь ввиду, что оптимальное функционирование социальных экосистем обуславливается не только объективными, но и такими субъективными факторами, как генетически унаследованные свойства по осуществлению биофункций (самосохранение, самовозобновление организма, продолжение рода и воспроизводство затраченной энергии), потребность в развитии своих способностей и необходимость выполнения социальных функций, для реализации познавательных, эстетических и других духовных потребностей.

На рисунке 1 приведена структурная блок-схема взаимосвязи основных эколого-социальных и социальных факторов, формирующихся под влиянием мелиоративно-ландшафтных преобразований.



Рисунок 1 Структурная блок-схема взаимосвязей мелиоративно-ландшафтных преобразований и эколого-социальной среды.

Учитывая, что таких факторов может быть множество, нами, для выявления значимо определяющих, использован факторный анализ с общей моделью типа

$$X_i = \sum_{j=1}^k a_{ij} \cdot f_j + b_{ij} \cdot V_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $a_{ij}, b_{ij}$  - факторные нагрузки  $i$ -той переменной на  $j$ -тый фактор;  $X_i$  - анализирующая переменная;  $f_j$  - случайные величины (общие факторы);  $V_i$  - случайные величины (специфические факторы) не коррелированные с  $f_j$ ;  $\varepsilon_i$  - случайные ошибки, не зависящие друг от друга и от величин  $f_j$  и  $V_i$ .

Исходя из числа факторов, допуская случай их равнозначности, средний весовой коэффициент каждого фактора составляет 62,5 %.

В качестве значимых тогда будут использоваться факторы весовые, коэффициенты которых превышают 78%, а незначимые - менее 47%.

Очевидно, социально-экономические факторы необходимо изучать по возрастным группам (до 17 лет; 18-45 лет; старше 45 лет), категориям населенных пунктов (центральные усадьбы, производственные центры и рядовые деревни), а также по наличию и размещению подсобного хозяйства (не имеют ПХ; ведущие минимальные ПХ; ведущие средние ПХ).

Анализ данных (опросных анкет и статистических отчетов) показал, что наиболее значимыми являются: соответствие жилой площади условиям ведения ПХ (72,1 %); дорожная сеть (70,5%); обеспеченность торговыми объектами (магазины, бани, КБО и т.д.) объектами (49,2%).

Однако, если рассмотреть влияние других факторов, то следует отметить их неоднозначность для возрастных групп, категорий населенных пунктов, а также с наличием и размерами ПХ.

Обеспеченность спортивными сооружениями (стадион, спортплощадка и т.д.) характеризуется значимостью в 61,3% (по центральным усадьбам), 58,3% (для жителей, не имеющих ПХ), 41,4 % (для производственных центров) и 38,7% (для рядовых деревень).

Необходимость улучшения условий труда (продолжительность, престижность, удаленность от места работы) характерна для жителей, ведущих среднее ПХ (66,7%). Улучшение оплаты труда как жителей второй возра-

гной группы, так и тех, кто ведет ПХ. Для этих групп характерна и важность повышения уровня обеспеченности жилой площадью.

Однако, если фактор обеспеченности учебно - воспитательными объектами значим для жителей первой возрастной группы, то обеспеченность лечебно-профилактическими учреждениями - для третьей возрастной группы и всех жителей.

Для жителей, ведущих среднее ПХ, очень характерна важность обеспечения общественным транспортом (48,3%) и наличие транспорта в личном пользовании (41,2%). Однако, эти факторы сильно варьируются для жителей, проживающих в производственных центрах (56,4%) и в отдаленных деревнях (49,1%).

Фактор, связанный с обеспечением условий отдыха, особенно значим для жителей первой возрастной группы (47,2%).

Для экологических факторов, базируясь на их равнозначности, средний весовой коэффициент каждого фактора составил 58,5%. Отсюда, в качестве значимых будут выступать факторы с весовыми коэффициентами более 75%, а незначимых - менее 45%.

Анализ экологических факторов необходимо проводить только с учетом возрастных групп и категорий населенных пунктов.

Наиболее значимыми являются следующие факторы: демографическая емкость по рекреационным ресурсам (80,3%), степень антропоустойчивости ландшафтов (72,6%), степень пригодности и качество водных ресурсов (62,1%), степень геохимической активности территории (49,9%), степень благоприятности состояния территории (48,8%).

Влияние всех остальных факторов очень неоднозначно как для возрастных групп, так и для категорий населенных пунктов.

Репродукционная способность территории по биологической продуктивности характеризуется значимостью в 78,9% для жителей второй и третьей возрастных групп. При этом, если для жителей центральных усадеб значимость этого фактора - 63,9%, то для рядовых деревень - 84,6%.

Степень пригодности и качество водных, воздушных и пищевых ресурсов характерны для всех анализируемых групп, однако, их важность варьируется от 49% до 65,9%.

Все факторы, связанные с демографической емкостью (по водным, земельным, рекреационным и другим ресурсам), значимы для жителей второй возрастной группы (60,9%). Аналогичная ситуация и для такого фактора, как степень благоприятности состояния территории (48,7%).

Значимость таких экологических факторов как степень воспроизводства природных жизненных ресурсов, степень взаимодействия природных и производственных процессов, экологическая емкость территории и степень сохраняемости историко-культурных и природных достопримечательностей - для всех анализируемых групп не превышает 38,9%.

#### Литература

- 1 Минаев И.В. Экологическое совершенствование мелиоративных систем. - Мн.: Ураджай, 1986, - 150с.
- 2 Шведовский П.В. Мелиорация и природная среда. - Мн.: Ураджай, 1984, - 159с.
- 3 Яцухно В.М. и др. Формирование агроландшафтов и охрана природной среды. - Мн.: ИГК АНБ, 1995, - 122 с.

### **ПРИНЦИПЫ УСТАНОВЛЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ВОД**

**Б.В. Фащевский, А.М. Пеньковская**

Институт современных знаний. Лаборатория гидрологии  
ЦДНИИКИВР, Минск, Республика Беларусь

*На основании отечественного и зарубежного опыта, а также собственных многолетних исследований авторов рассмотрены принципы установления целевых показателей и критериев качества вод, основанных на экосистемном подходе; дан критический обзор современного состояния нормирования качества вод и предложены подходы к разработке экологических критериев качества.*

**ЦЕЛЕВЫЕ, ПОКАЗАТЕЛИ, КРИТЕРИИ, КАЧЕСТВО, ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫЕ, КОНЦЕНТРАЦИИ, ЭКОСИСТЕМНЫЙ, ПОДХОД, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, КРИТЕРИИ**

В последние годы, в мировой практике обозначились новые подходы в области использования, охраны и восстановления водных экосистем. Основным в них является установление целевых показателей качества вод в водных объектах и разработка экологических критериев качества.

Целевые показатели качества воды водных экосистем представляют собой временные или постоянные нормативы допустимого сброса и поступ-

ления в водные объекты загрязнителей и служат достижениям определенной цели. Целевые показатели качества вод должны включать биологические, абиотические и физико-химические параметры, водный режим и виды использования, которые воздействуют на уровни и расходы воды, скорости течения, режим взвешенных и донных наносов и др.

В общем случае, установление целевых показателей качества воды, на основе экосистемного подхода, требует выполнения следующих работ:

а) инвентаризации источников поступления загрязнений в водные объекты, включая точечные и диффузные источники, места производства, использования, хранения и удаления опасных веществ;

б) сбора и анализа данных по результатам мониторинга качества вод и гидрологического режима (уровни, расходы, температура, ледовый режим, наносы);

в) исследования аккумуляции и динамики изменения загрязняющих веществ в донных отложениях, а также в аборигенных видах водных растений, беспозвоночных, рыб, земноводных и др.;

г) изучения и оценки количественного состава и биопродуктивности аборигенных видов фитопланктона и макрофитов в водной экосистеме в динамике за последние годы;

д) изучения и оценки количественного состава и биопродуктивности водных беспозвоночных, рыб, земноводных, полуводных и околородных млекопитающих, водоплавающих и околородных птиц;

е) исследования и оценки расчетных значений поймоформирующего и руслоформирующего расходов воды;

ж) проведения исследований по оценке самоочищающей способности водотоков и водоемов от загрязнений (включая химические, физические и микробиологические компоненты);

з) экономической оценки технических, финансовых и других затрат, связанных с желательным повышением качества воды для определения окончательной стратегии;

и) оценивания санитарно-экологических условий и срочности принятия мер по ограничению загрязнения, в каждом конкретном случае, с целью определения этапов и сроков достижения необходимых целей.

Целевые показатели качества вод являются достаточно стабильными для продолжительных отрезков времени, так как они, по идее, должны адекватно отражать накопленный научно-технический опыт в области нормирова-

ния, прогресс в которой связан, как известно, с длительными и дорогостоящими исследованиями.

Корректировка целевых показателей, в изложенном понимании, следовательно, может проходить лишь по мере накопления новых знаний. Для конкретного водного объекта, в зависимости от изменения местных хозяйственных условий (реконструкция предприятий, появление новых видов водопользования и др.), могут исключаться или возникать те или иные отраслевые (целевые) требования к качеству вод.

При наличии на водном объекте нескольких видов водопользования, возникает задача установления таких целевых показателей качества вод, которые удовлетворяют всем предъявленным требованиям.

Естественно, при этом, ориентироваться на наиболее жесткие нормы качества вод, которые определяются по огибающей (верхней или нижней, в зависимости от предмета нормирования) одновременных требований к качеству вод всех составляющих водопользования.

В частном случае, это может быть один наиболее требовательный вид водопользования. Если же огибающие требования по специфичному показателю качества вод не являются нормативно заданными, а характеризуют особенности хозяйственных условий, необходимо экономическими расчетами обосновать целесообразность их установления, в сравнение с усилением водоподготовки, заменой технологии производства и т.д.

Отнесение конкретного водного объекта к определенной категории (ухудшение в сравнении с природным фоном) водопользования, подразумевает и непереносимое соблюдение соответствующих целевых показателей.

Реально это достижимо только при выполнении сложного комплекса управленческих решений эколого-экономической направленности (надлежащая очистка всех сточных вод, поступающих в водный объект, полное упорядочение поверхностного стока с водосборной площади, включая его задержание, очистку, соблюдение режимов эксплуатации водохозяйственных зон и т.д.).

Если подобные меры пока не проведены в полном объеме, установленные целевые показатели качества вод следует считать как некоторую поддержку в стратегическом плане, достижение которой, тем самым, признается одной из целей устойчивого развития территории водного бассейна на ближайшую или отдаленную перспективу, в зависимости от степени нарушения этих нормативов.

Вторая модификация целевых показателей качества вод, устанавливается в том случае, когда сложившийся гидрохимический и гидробиологический режим на рассматриваемом водном объекте не удовлетворяет требованиям лимитирующего, или даже менее жесткого по нормативам, вида водопользования, реально функционирующего на этом водном объекте. Поскольку, для изменения подобной негативной ситуации требуется определенная время и необходимые материально-технические и финансовые ресурсы, на период (срок), который назначен для исправления ситуации, назначаются более облегченные, т.е. менее жесткие целевые показатели качества вод, различающиеся по этапам осуществления необходимых водоохранных и иных мер.

Исходной, в этом случае, является надежная оценка современного состояния качества вод, которая устанавливает, требования какого вида водопользования фактически удовлетворяются (не удовлетворяются) на данном водном объекте.

Мировой опыт показывает, что оценка и установление целевых показателей качества вод в водных объектах может производиться:

- для отдельных водных объектов;
- для всех водоемов и водотоков страны;
- на основе схем классификации качества воды;
- для трансграничных водных объектов;
- для охраны водных и околосредных экосистем.

Наибольшее распространение получил метод установления целевых показателей для отдельных водных объектов (Великие озера, р. Рейн, оз. Мьёса и др.).

Целевые показатели качества вод для водотоков должны учитывать требования, предъявляемые к качеству лежащих ниже по течению озер и водохранилищ. Так, разработанные целевые показатели качества вод для Великих озер учитывают концентрации биогенных веществ в притоках этих озер.

Используемые в настоящее время, на практике, критерии качества водных ресурсов, в виде предельно-допустимых концентраций (ПДК) в воде, служат для защиты отдельных видов водопользования (снабжение питьевой водой, орошение, рекреация, рыбное хозяйство и др.) Все эти критерии, в виде ПДК, касаются лишь самой водной среды, но никак не касаются накопления загрязнений в донных отложениях, во взвешях, в водных растениях и животных. Нормирование, на основе ПДК, не учитывает явления синергиз-

ма и антагонизма веществ, находящихся в водных объектах, а также явления биоконцентрации, когда биоаккумуляция происходит по трофическим цепям. Организмы, находящиеся в водной среде и донных отложениях, поглощают и аккумулируют загрязняющие вещества в их тканях. Далее, этими организмами, животные следующего трофического уровня получают более высокие дозы загрязнений и т.д. В результате, на вершине данной пищевой цепи концентрация химиката может оказаться в 1 млн. раз выше, чем в водной среде. Так, исследования американских специалистов показывают следующую картину изменения ДДТ:

- в воде - 0,0000003 мкг/л; в фитопланктоне - 0,04 мкг/л; в зоопланктоне - 0,20 мкг/л; в мелкой рыбе - 2,00 мкг/л; в рыбадных птицах - 20,00 мкг/л.

Такой эффект подтверждает, что оценка качества вод по ПДК в водной среде может привести к тяжелым последствиям как для гидробионтов, так и прежде всего человека, потребляющего отравленную рыбу.

Кроме того, существующая система ПДК не учитывает скорости распада и превращения загрязняющих веществ в конкретных водных объектах, т.е. их самоочищающую способность, которая зависит не только от химических свойств воды, но и от физических и биологических характеристик водного объекта, включая характер течений в различные фазы водного режима, турбулентность, температуру воды, характер слагающих русло и пойму, степень шероховатости речного русла, характер движения и объема взвешенных веществ и донных наносов, развитие водной и пойменной растительности, развитие водной и околородной фауны.

Существующая система критериев качества вод, базирующаяся на ПДК, учитывает состояние водной толщине реки или озера только в момент взятия пробы и никак не учитывает ее возможные изменения буквально через час, день, неделю или сезон, когда в результате штормовой погоды, прохождения волны паводка, отмирания водной растительности (особенно в летне-осенний период) состояние качества вод изменяется на 1...2 порядка, в результате поступления загрязняющих веществ из донных отложений, отмирающей водной растительности и других организмов. Поэтому, возникает необходимость разработки экологических критериев качества вод, учитывающих условия нормального функционирования водных экосистем.

При разработке экологических критериев качества вод необходимо изучить:

а) гидродинамические процессы разбавления и самоочищения водных объектов;

б) физико-химические процессы сорбции и десорбции загрязняющих веществ, их осаждения, коагуляции, образования труднорастворимых соединений в водных объектах;

в) биохимические процессы окисления загрязняющих веществ, особенно органических, и дать оценку объемам потерь кислорода на эти процессы (особенно в зимний подледный период);

г) процессы аккумуляции загрязнений в водной и околоводной, а также пойменной растительности, с выявлением как положительных, так и отрицательных воздействий на их развитие и функционирование;

д) процессы аккумуляции загрязнений в сообществах планктонных и бентосных беспозвоночных;

е) процессы биоконцентрации загрязняющих веществ в растительных и животных организмах через трофические цепи, обратив особое внимание на соли тяжелых металлов и пестициды;

ж) процессы отмирания растительности в осенне-зимний период и с резким поступлением в водные объекты большого количества органических и накопившихся в растениях минеральных загрязняющих веществ (азота, фосфора, тяжелых металлов и стойких пестицидов и др.);

з) процессы накопления загрязняющих веществ в рыбах, земноводных, водоплавающих и околоводных птицах и млекопитающих и оценки влияния различных загрязняющих веществ на развитие этих животных в долгосрочной перспективе.

Экологические критерии качества вод обязательно должны учитывать изменения и колебания режима водных объектов в различные фазы стокообразования. Без необходимого количества воды в водных объектах, не может формироваться и качество их вод. Если не будет обеспечиваться в реке руслоформирующий и поймоформирующий расходы воды, то деградируют и русло, и пойма, и, в целом, экосистема водного объекта, поэтому, при разработке экологических критериев качества воды обязательно должны учитываться количественные параметры водных ресурсов рек и озер и соответствующие фазы водного режима.

#### Литература

- 1 Hem J.D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. Washington, 1992.
- 2 Охрана водных ресурсов и экосистем. ЕЭК ООН. Нью-Йорк, 1993г.

3 Protection of Water Resources and Aquatic Ecosystems. United Nations. New York, 1993.

4 Фащевский Б.В. Основы Экологической Гидрологии. Минск, 1996г.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

А.А. Волчек

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В статье представлен разработанный нами программный комплекс "Гидролог", описаны его возможности и характеристики, а также база гидрологических данных, сопровождающая рассматриваемый пакет прикладных программ.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ, РАСЧЕТНЫЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАСХОД, МОДУЛЬ, СЛОЙ СТОКА ВОДЫ, РЯД НАБЛЮДЕНИЙ, ВЕРОЯТНОСТЬ ПРЕВЫШЕНИЯ, ГОДОВОЙ СТОК, МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК, ВЕСЕННЕЕ ПОЛОВОДЬЕ, ДОЖДЕВОЙ ПАВОДОК, ПРЕДПОСЕВНОЙ СТОК, СРЕДНЕМЕЖЕННЫЙ СТОК, МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК, ГИДРОГРАФ

Определение основных гидрологических характеристик регламентируется, до настоящего времени, документами [1,2], изданными более 10 лет назад. При этом, некоторые методики, в частности методики определения гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений, дают некорректные результаты для условий Беларуси. Силами специалистов республики подготовлены региональные методики, позволяющие улучшить результаты гидрологических расчетов. Кроме того, компьютерные программы автоматизированных гидрологических расчетов, были разработаны для ЭВМ класса ЕС и СМ, которые, в настоящее время, морально устарели и уже давно не используются в водохозяйственных организациях. Поэтому, Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь создан творческий коллектив институтов (Белгипроводхоз, Полесьегипроводхоз, Брестский политехнический) для разработки **Пособия** к СНиП 2.01.14-83 "Определение расчетных гидрологических характеристик", взамен существующего [2].

Силами творческого коллектива критически проанализированы имеющиеся методы, способы и методики расчета основных гидрологических ха-

рактических, которые после апробации и рецензирования включены в "Пособие...". Большая творческая работа выполнена при подготовке нового пакета компьютерных программ, позволяющих пользователям оперативно сформировать "АРМ - Гидролог" и обеспечивать расчетными гидрологическими характеристиками процессы проектирования речных гидротехнических сооружений, железных и автомобильных дорог, сооружений мелиоративных систем, систем водоснабжения, планировки и застройки населенных пунктов, разработки генеральных планов промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также природоохранных и противопаводковых мероприятий, в целом на территории Беларуси.

Работа ведется в форме диалога, широко используются возможности "MS Windows" по созданию графического интерфейса, что дает возможность пользователю оперативно, и с достаточной точностью, получать необходимые сведения о гидрологических характеристиках, рассчитываемых в рамках программного комплекса "Гидролог". Пользователь сообщает необходимые данные (вводит с экрана, загружает файл) для работы программы, контролирует промежуточные и конечные результаты, имеет возможность выводить их на печать. Кроме того, на различных этапах расчетов предусмотрен автоматизированный контроль входной и выходной информации с целью устранения ошибок и грубых просчетов в определении гидрологических характеристик и подготовке исходных данных.

Программный комплекс "Гидролог" рассчитан на работу с персональными компьютерами типа IBM PC AT или другими совместимыми компьютерами при использовании операционной системы "Windows 95" или программных оболочек "Windows 3.1" и "Windows 3.11". Конфигурация компьютера должна отвечать требованиям вышеназванных операционных систем к аппаратной части ПК. Для размещения и работы программного комплекса "Гидролог" требуется не менее 50 Mb свободного дискового пространства.

Программный комплекс "Гидролог" позволяет в автоматизированном режиме, с использованием диалоговых средств, выполнять операции:

- ввода и обработки исходных данных;
- расчетов гидрологических характеристик, в зависимости от степени обеспеченности этих процессов данными гидрометрических наблюдений;
- вывода графической информации;
- печатания необходимых форм;
- подключения любых внешних баз данных и т.д.

Исходные данные формируются как непосредственно в программном комплексе "Гидролог", так и во внешних редакторах баз данных, таких как "MS Access" или просто вводятся из-под операционной системы "DOS".

При этом, программный комплекс "Гидролог" снабжен базой гидрологических характеристик. Структура используемых баз данных следующая:

- База данных стока рек, в которой хранятся хронологические месячные, годовые и характерные расходы воды стока рек Беларуси (годовой, январь...декабрь, половодье, паводок, предпосевной, меженный, летний и зимний минимумы) - всего девятнадцать его видов с 1877 года;

- База данных типовых внутригодовых распределений стока рек Беларуси;

- База данных по рекам - аналогам для расчета годового стока рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета (построения) годового гидрографа стока рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета среднемеженного стока рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета минимального (летнего и зимнего) стока рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета предпосевого стока рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета (построения) гидрографа стока дождевых паводков рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета стока рек дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных по рекам - аналогам для расчета стока рек весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;

- База данных гидрографических характеристик рек Беларуси.

Базы могут пополняться, корректироваться (при необходимости) и используются при решении всех, заложенных в пакете, гидрологических программ.

Результаты обработки гидрологических данных в перечисленных выше базах могут быть выведены на печать или сохранены на машинных носителях для их дальнейшего анализа и использования в проектной практике.

*Программный комплекс "Гидролог"* состоит из следующих программ, которые логически взаимосвязаны между собой и могут работать как в комплексе, так и автономно:

- *Определение гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений.* Программа предназначена для комплексной обработки ряда наблюдений, который может содержать также пропуски информации. В качестве исходных данных используется информация, сформированная с помощью программы ведения баз данных "Работа с базами данных". С помощью программы "Определение гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений" можно рассчитывать оценки стандартных статистических параметров методами моментов и приближенного наибольшего правдоподобия. Оценки параметров, определенные методом моментов, могут быть рассчитаны с поправкой на смещение в соответствии с таблицами, полученными методом статистических испытаний. Могут быть рассчитаны эмпирические кривые распределения для любой рабочей формулы эмпирической обеспеченности. Программа позволяет рассчитывать аналитические кривые распределения по значениям оценок параметров (полученных указанными выше способами) для распределений Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа. При расчете параметров аналитических кривых распределения, вычисляется количественная оценка отклонения эмпирической кривой от соответствующей ей аналитической кривой обеспеченности. Для каждого ряда могут быть определены, по критерию Диксона, нерепрезентативные значения. Эти значения могут быть исключены из ряда, и для полученного ряда - снова рассчитаны оценки стандартных статистических параметров указанными методами. Результаты расчетов могут быть представлены в виде таблиц или графиков;

- *Продление гидрологических рядов.* Предназначена для восстановления отсутствующих данных наблюдений за элементами гидрологического режима рек с использованием метода множественной линейной регрессии; в качестве аргументов привлекаются любые гидрологические характеристики. Кроме получения поточечно восстановленных данных, рассчитываются все возможные уравнения линейной регрессии, коэффициент множественной корреляции и его среднеквадратическая ошибка, а также даются оценки стандартных статистических параметров (оценки среднего значения стока, среднего квадратического отклонения, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции) как по наблюдаемым, так и по восстановленным рядам. В программе предусмотрено исключение уравнений регрес-

сии, не удовлетворяющих определенным, задаваемым критериям. Предусмотрена запись основных результатов расчетов на диск, что дает возможность формировать архив восстановленных рядов гидрологических величин, аналогичный архиву наблюдаемых рядов. Алгоритмом программы предусмотрена возможность обработки информации, содержащей пропуски наблюдений;

- *Определение гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.* Программа предназначена для расчета следующих видов стока: максимального весеннего половодья и дождевых паводков; минимального; среднемеженного; предпосевного периода и годового. Расчеты ведутся по методикам, приведенным в новом Пособии к СНиП 2.01.14-83 "Определение расчетных гидрологических характеристик";

- *Расчет внутригодового распределения стока.* Предназначена для расчета внутригодового распределения стока при наличии данных наблюдений методом "реального года" и "компоновки сезонов";

- *Анализ однородности гидрологических рядов.* Предназначена для анализа гидрологических рядов на однородность, выявления трендов, цикличности и т.п.

Разработанный нами программный комплекс "Гидролог" и расчетно-информационная база прошла апробацию в водохозяйственных проектных институтах республики, а также внедрена в учебный процесс на кафедре сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского политехнического института при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов. Программный комплекс "Гидролог" является крупным шагом в деле завершения автоматизации гидрологических расчетов, позволяющим на качественно новом уровне выполнять научное обоснование проектных решений в области мелиорации и водного хозяйства и в других, смежных отраслях.

#### Литература

1 СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик/ Гострой СССР. - М.: Стройиздат, 1985. - 36с.

2 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеониздат, 1984. - 448 с.

## **ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕСЬЯ**

**Б.П. Власов, П.С. Лопух**

Географический факультет, Белгосуниверситет  
Минск, Беларусь

*Рассматриваются вопросы влияния инженерно-технических мероприятий при создании водохранилищ на экосистемы озер и прилегающую территорию.*

**ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ, МЕРОПРИЯТИЯ, ВОДНЫЕ, ЭКОСИСТЕМЫ, ПОЛЕСЬЕ**

Проведение широкомасштабной интенсивной гидромелиорации затронуло преобразованием все элементы гидросети территории - реки, озера, водохранилища. Завершение работ в 80-х годах привело к относительной стабилизации основных гидрологических характеристик водных экосистем.

Современный фонд искусственных водоемов Белорусского Полесья, в пределах Полесской физико - географической провинции, составляет 41 водохранилище и около 400 прудов. Водоохранилища создавались при мелиорации земель, реализации бассейновых схем комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов. Водоемы принадлежат к трем основным типам - к речному типу относятся наиболее крупные водохранилища в долинах рек: Краснослободское, Любанское, Селец, Солигорское, Днепробрагинское и др.; к озерному типу принадлежат водохранилища, созданные на базе естественных водоемов: Погост, Споровское, Луковское и др.; наливного типа, созданные для регулирования уровня грунтовых вод на крупных равнинных мелиоративных объектах: Велута, Любанское, Красная Площадь, Большие Орлы и др.

Особое место среди перечисленных водоемов занимает озеро Белое, используемое в качестве водоема-охладителя при ГРЭС. На ряд крупных озер, расположенных на заболоченных массивах, интенсивная мелиорация территории оказала косвенное влияние путем изменения гидрологического режима водосборной территории (Черное).

Создание озерных водохранилищ приводит к увеличению значений основных морфометрических параметров естественных водных объектов, что приводит к возникновению качественно нового водного объекта.

Основные гидротехнические мероприятия, при этом, сводятся к реше-

нию следующих вопросов:

- подготовке ложа к затоплению (дноуглубительные работы при выемке органических грунтов из зоны затопления);
- строительству плотин и дамб (выемке минеральных грунтов);
- присыпке органических грунтов минеральными (переформирование ложа);
- созданию каналов, спрямлению русл (переустройство гидрографической сети на основном и малом водосборе);
- строительству головных плотин (для создания подпора и поднятия уровня воды озера);
- созданию регулирующих устройств на входе и выходе из озер (принудительная стабилизация уровня).

Типичные озерные водохранилища, в основном, сконцентрированы в Брестском Полесье (Черное, Погост, Белое, Луково). Их создание обусловлено, в основном, применением выше перечисленных мероприятий в комплексе.

Строительство водохранилищ речного типа имеет ряд особенностей. Заболоченность территории, пологие и низкие берега, слабая выраженность речных долин не позволяют создавать в Полесье значительных напоров без обвалования и дноуглубительных работ. Нередко, обвалованием охвачено до 100% протяженности береговой линии нового водоема. При этом, наблюдается подъем уровня грунтовых вод по всему периметру водохранилища ("эффект кругового подпора"). Этот фактор вынуждает дополнительно вести строительство насосных станций для подкачки в водоемы вод с мелиоративных объектов, фильтрационных вод из водохранилища.

Характерной чертой мелиорации земель последнего десятилетия в пределах долин крупных рек занимающих обширные территории является включение в объекты старичных озер. Гидрологические особенности водоемов этого типа связаны с влиянием на гидрологический режим рек и, в соответствии с этим, особенностями их развития в весенний, летне-осенний и зимний гидрологические сезоны. Все водные объекты тесно связаны с водосбором. Хозяйственные мероприятия приводят к изменению гидрологической сети водосбора. Как показывают исследования на Брестском Полесье, основные изменения затрагивают места расположения истоков, длину рек, их извилистость, уклоны водной поверхности водотоков, основные физико-географические характеристики, бассейновую принадлежность водных объектов, условия формирования стока.

В результате регулирования и превращения русл рек в водоприемники осушительных систем, происходит изменение гидрологической сети бассейновых рек, их морфометрических характеристик и формирование нового водного режима, увеличение уклона, внутрибассейновых и межбассейновых перебросок стока, ввода в эксплуатацию систем двустороннего регулирования, переустройства открытой сети каналов на закрытый дренаж, увеличения в период межени подземного питания, в связи с повышением дренирующей способности рек.

Общая протяженность участков регулирования рек и каналов в пределах только Брестского Полесья за 1950...95 годы составила 781,5 и 1403,9 км, соответственно. За этот же период, в бассейне Зап. Буга введено в эксплуатацию 73 пруда и 11 водохранилищ. По данным Белгосгидромета, по состоянию на 1.01.95 г., в бассейне Западного Буга отрегулировано 60 % рек на всем протяжении и 21 % - на отдельных участках. Введены в эксплуатацию крупные мелиоративные системы "Малорита", "Осиповка", "Казацкая" "Дятловичи", "Тростяница", "Заозерье", 55 прудов и крупные водохранилища (Луковское, Любань, Олтуш, Казацкое, Повить), общим объемом около 55 млн. м<sup>3</sup>.

При строительстве водохранилищ озерного типа основные изменения в их природе сводятся к изменению: гидрологических и гидрохимических показателей; морфометрических показателей; объема и характера стока рек в нижнем бьефе; микроклиматического влияния озера на прилегающую территорию.

В результате преобразования - подъема уровня и увеличения общего и полезного объема, происходит формирование нового гидрологического режима и новой гидроэкосистемы "озерное водохранилище". Все озерные водохранилища, условно, подразделены на 4 группы по степени увеличения объемов: с незначительным (до 5 %), существенным (5...20 %), значительным (20...100 %) и весьма значительным (100%) увеличением объема. Увеличение объемов в 1,5...2 раза наблюдается в Полесье, при сочетании обвалования и углубления ложа (Черное, Гоша). С увеличением объемов, происходит изменение ряда, формы котловины, морфометрических показателей. Как показывают исследования, кардинальные изменения происходят при увеличении площади на 1/3.

Одним из основных показателей изменения гидрологического режима озер, является изменение проточности водоема, режима уровней. При стабильной площади водосбора, уменьшается роль стока в водном балансе за-

регулируемых озер и возрастает роль осадков на зеркало и величины испарения. Практически, во всех озерных водохранилищах Полесья произошло снижение интенсивности водообмена.

С увеличением средней ширины, прямо пропорционально изменяется мощность эпилимниона. Со средней глубиной нового водоема тесно связано соотношение объемов эпи- и гипolimниона, т.е. вертикальная дифференциация водных масс.

В формировании гидрохимического режима четко выделяется два периода. Периоду устойчивого гидрохимического режима предшествует неустойчивый, отличающийся неустойчивым ходом химических элементов. На 15...20 году эксплуатации, газовый и гидрохимический режимы более подчиняются законам лимносистемы, чем риосистемы. Период стабилизации лимносистемы характеризуется уменьшением амплитуды колебания гидрохимических показателей.

При подъеме уровня озера, все ранее стабильные режимные показатели претерпевают качественную и количественную трансформацию. Это приводит, соответственно, к трансформации гидрозкосистемы, в целом. Характерным показателем трансформации экосистемы является изменение направленности процесса седиментации, качественных и количественных характеристик гидробионтов и сам процесс зарастания ложа.

Финальным интегральным показателем трансформации экосистемы является изменение трофического уровня водоема. Наблюдается переход гидрозкосистемы озера из одного типа (подтипа) в другой. Повышение уровня озера и увеличение его площади приводит к омоложению (олиготрофизации) лимносистемы. Как показывают исследования озер Полесья и других озерных водохранилищ Беларуси, незначительное поднятие уровня озер (Любань, Песчаное) приводит к ускоренному процессу становления и стабилизации их экосистемы. При подъеме уровня менее чем на 1 м, активизируются только начальные изменения озера (релаксация), нарушается равновесное состояние береговой линии, незначительно меняются условия обитания жизни гидробионтов. Лимноэкосистема восстанавливается и приходит в равновесное состояние в течение 5...6 лет.

Принудительное изменение уровня свыше чем на 1 м приводит к коренной перестройке лимноэкосистемы - меняется форма котловины, конфигурация и профиль береговой линии, изменяется фон седиментации, деградирует водная растительность, происходит изменение видового состава и продукции фауны и флоры, олиготрофизация водоема. Экосистема стре-

мится к равновесному состоянию, однако, период ее стабилизации растянут во времени на 20...30 лет.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИДАМБОВОГО ДРЕНАЖА, ЗАЩИЩАЮЩЕГО ТЕРРИТОРИИ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ

Г.Г. Круглов, Мохан Джайсвал

Факультет энергетического строительства, БГПА  
Минск, Республика Беларусь

*Приведена новая конструкция придамбового дренажа, значительно повышающая эффективность его работы при защите территорий от подтопления.*

### ПРИДАМБОВАЯ, ДРЕНА, ВОДОНЕПРОНИЦАЕМАЯ, ЗАВЕСА

Наряду с решением ряда важнейших водохозяйственных задач, создание водохранилищ вызывает и негативные последствия, основными из которых являются затопление и подтопление территорий. В целом, по странам СНГ затоплено около 7 млн. га земель [1], 10 % из которых приходится на долю пашни и 29 % - на сенокосы и пастбища. Площади подтоплений оцениваются в среднем, в 10...15 % от площади затоплений, а при неблагоприятных условиях могут достигать 70...80 %.

Природные условия Беларуси, в основном, являются неблагоприятными, с точки зрения подтопления территорий при создании водохранилищ. Равнинный рельеф местности, меандрирующие, с минимальными уклонами реки, пойменные террасы которых невысоко (0,5...4,0 м) подняты над меженим уровнем воды [2]. Грунты ложа водохранилищ на большей части территории представлены песчаными и супесчаными четвертичными отложениями различной мощности (от 3...9 до 30...50 м) с обильными грунтовыми водами, залегающими близко от дневной поверхности.

Выполненные на ряде водохранилищ исследования показали, что зоны подтопления составляют 5...10 % от площади водного зеркала для водохранилищ с объемом более 200 млн. м<sup>3</sup>, 40 % - при объеме более 60 млн. м<sup>3</sup> и 30 % - при объемах 20...40 млн. м<sup>3</sup> [3].

Основным средством инженерной защиты территорий в зонах водохранилищ от подтопления служит дренаж, перехватывающий фильтрационный

поток со стороны водохранилища и грунтовый поток со стороны водораздела.

В состав защитных сооружений, применяемых наиболее часто на гидроузлах, входят оградительные дамбы из местного грунта, чаще всего супеси, мелкого и средней крупности песка, закрытый трубчатый дренаж, как правило, из гончарных трубок диаметром 200 мм, с обсыпкой их обратным фильтром, и придамбовый канал на расстоянии 15...20 м от подошвы низового откоса, который, помимо снижения уровня грунтовых вод на защищаемой территории, используется для отвода фильтрационных вод, поступающих в трубчатый дренаж.

Выполненные БелНИИ мелиорации и луговодства, Белгипроводхозом, Полесьегипроводхозом, Брестским политехническим институтом и БГПА обследования ряда водохранилищ с приведенной выше конструкцией защитных сооружений показали, что достаточно часто они не справляются со своей задачей, дренажи работают неудовлетворительно, не обеспечивают необходимое понижение уровня грунтовых вод на защищаемой территории, что приводит к ее подтоплению и заболачиванию [4, 5].

Анализ конструкции дренажных устройств и режима их работы позволил выделить две основные причины их неудовлетворительной работы: во-первых, трубчатый придамбовый дренаж, будучи гидродинамически несовершенным по степени вскрытия пласта, не перехватывает весь фильтрационный поток, идущий со стороны водохранилища через земляную плотину и водопроницаемое основание; большая часть этого потока проходит ниже дрены через толщу водопроницаемого грунта в сторону защищаемой территории, при этом, дрена не обеспечивает необходимого гашения напора фильтрационного потока, что обуславливает высокие уровни грунтовых вод на защищаемой территории; во-вторых подтопление защищаемых территорий связано с образованием над дренай нависания грунтовых вод. В этом случае, уровни грунтовых вод не понижаются до поверхности дрены (кривая депрессии не пересекает ее боковую поверхность), и часть фильтрационного потока проходит над дренай, вызывая резкое повышение уровня грунтовых вод на защищаемой территории и, следовательно, ее подтопление и заболачивание; образование нависания грунтовых вод над гончарной дренай обуславливается недостаточной ее скважностью (в четыре-пять раз меньше необходимой) и малым (меньше критического) диаметром, который, по данным расчетов для нескольких гидроузлов, должен быть (вместе с обратным фильтром) не менее 1,0...1,5 м.

Таким образом, проведенный анализ конструктивных особенностей дренажей, применяемых в настоящее время, показал, что они имеют ряд существенных недостатков и требуют дальнейшего совершенствования.

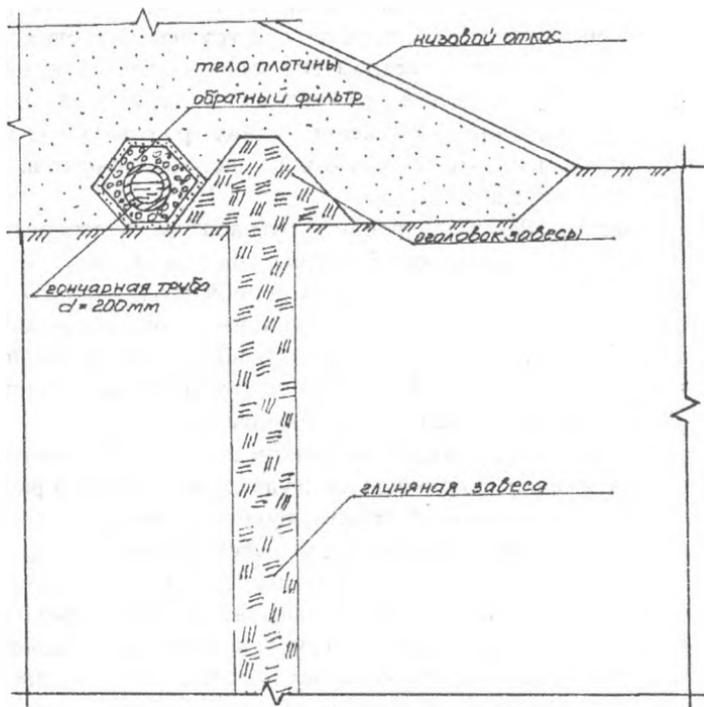


Рисунок 1 Схема дренажа с водонепроницаемой завесой.

В связи с этим, рядом авторов были предложены новые, более совершенные конструкции защитных дренажей [6, 7], в которых обычная конструкция трубчатой дрены дополняется рядом конструктивных элементов, позволяющих значительно повысить эффективность работы дренажа. К ним относятся: трубчатые дрены с водонепроницаемым экраном из полиэтиленовой пленки, верхняя часть которого заведена выше отметки максимально возможного положения кривой депрессии и придамбовый дренаж кассетно-

го типа, в котором полностью отсутствует обратный фильтр, а также, предлагаемая авторами, горизонтальная дрена с вертикальной водонепроницаемой завесой, конструкция которой приведена на рисунке 1.

По данной конструкции получено положительное решение на выдачу патента Республики Беларусь.

Предлагаемая конструкция защитного дренажа состоит из водосборных труб (гончарных, перфорированных бетонных или асбестоцементных), уложенных параллельно подошве низового откоса плотины, вокруг которых укладывается обратный фильтр. К обратному фильтру примыкает оголовок вертикальной водонепроницаемой завесы, выполняемой из глины или суглинка методом "стена в грунте".

Анализ результатов фильтрационных исследований, как обычной конструкции придамбового дренажа (без завесы), так и дренажа с водонепроницаемой завесой показал:

1) над дренажной обычной конструкции при определенных условиях, возникает нависание грунтовых вод, достигающее величины 20...30% от напора со стороны водохранилища, что всегда вызывает подтопление защищаемой территории. Расход фильтрационного потока, проходящего мимо дренажа (как при наличии нависания грунтовых вод, так и без него) в сторону защищаемой территории, изменяется от 10 до 30% от полного расхода грунтового потока со стороны водохранилища;

2) устройство трубчатого дренажа с водонепроницаемой завесой полностью снимает, или существенно уменьшает, нависание грунтовых вод над дренажной, что значительно понижает уровень грунтовых вод на защищаемой территории, предотвращая ее подтопление. При этом, расход фильтрационного потока, проходящего мимо дренажа, уменьшается в 1,5...4,7 раза и на превышает 2...10% от полного расхода грунтового потока со стороны водохранилища.

Таким образом, устройство трубчатой дренажной системы в комплексе с водонепроницаемой завесой значительно повышает эффективность ее работы по защите территории от подтопления.

#### Литература

1 Авакян А.Б. Народнохозяйственные и экономические последствия спуска водохранилищ. Гидротехническое строительство. -1991. - №8. с. 1...8.

2 Схема осушения и освоения земель Полесской низменности Белорусской ССР. Белгидроводхоз. - Минск, 1968, 101 с.

3 Юревич Р.А., Кулешов А.П. Современное состояние и использование водохранилищ Белоруссии. Водные ресурсы. -1992.- №4, с. 174...176.

4 Мишурова Г.В., Кудряшов В.В. Режим уровней грунтовых вод водохранилища "Красная Слобода". Мелиорация переувлажненных земель. Сборник научных трудов, вып. 30. - Минск: Ураджай, 1982, с. 125...131.

5 Круглов Г.Г. Исследование уровня грунтовых вод над дренажем огражденной дамбы Заславского водохранилища. Водное хозяйство и гидротехническое строительство, вып. 13. Минск: Вышэйшая школа. - 1984, с. 101...105.

6 Ведров А.И., Водчиц Н.Н. Новые конструкции придамбового дренажа. Мелиорация и водное хозяйство. -1992.- №7-9, с. 19...23.

7 Водчиц Н.Н., Мороз М.Ф., Глушко К.А., Ведров А.И. Конструкция придамбового дренажа. Мелиорация и водное хозяйство. -1992.- №4, с. 5...10.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

**М. Ф. Мороз**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Исследованы экологические аспекты автоматизации систем вертикального дренажа.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ВОДНЫЕ, РЕСУРСЫ, ДРЕНАЖ, ВОДНЫЙ, РЕЖИМ, АВТОМАТИЗАЦИЯ**

Одним из направлений рационального и экономного использования водных ресурсов в гидромелиоративном строительстве, является автоматизация технологических процессов регулирования водного режима почв. Современная мелиоративная система должна обеспечивать оптимальные условия для произрастания сельскохозяйственных культур, давать возможности для оперативного управления водным режимом почв, экономного расходования водных ресурсов. Этим требованиям в большей степени отвечают мелиоративные системы на базе вертикального дренажа.

Системы вертикального дренажа гумидной зоны представляют собой комплекс инженерных сооружений (скважины, сбросные и зашлюзованные каналы, бассейны суточного регулирования, напорные трубопроводы, стационарные или передвижные насосные станции) и устройств (линии связи, средства локальной автоматики, пульта управления), объединенных общей целью - регулирования водного режима почв. В зависимости от конкретных гидрогеологических условий и направления сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель системы вертикального дренажа устраиваются осушительными или осушительно - увлажнительными [1].

Осушительные системы применяются в тех случаях, когда необходимо понизить уровни грунтовых вод (УГВ) до требуемой нормы осушения.

Осушительно - увлажнительные (оросительные) системы применяются в том случае, когда под влиянием испарения и транспирации при неработающих скважинах, УГВ понизится ниже требуемой отметки и растения начнут испытывать недостаток влаги в почве, система включается в работу, и откачиваемые воды через систему трубопроводов, регулирующих бассейнов, зашлюзованных каналов, или напрямую, подаются к дождевальным аппаратам. Общие схемы автоматического регулирования водного режима осушительной системой вертикального дренажа приведены на рисунках 1...4.

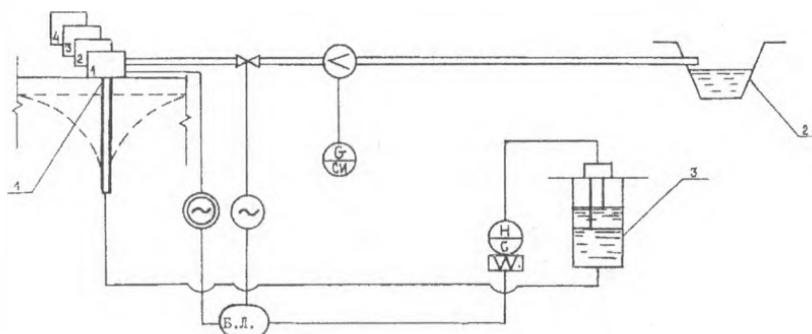


Рисунок 1 Общая схема автоматического регулирования водного режима осушительной системой вертикального дренажа: 1-дренажные скважины; 2-сбросной канал; 3-колдец датчиков УГВ; Б.Л. - блок логики; Н-контролируемый уровень; Г-контролируемый

расход; С-прибор самопишущий; СИ-прибор самопишущий и интегрирующий.

Автоматическое регулирование водного режима на системах вертикального дренажа, заключается в своевременной остановке и пуске насосного агрегата скважины, в зависимости от мелиоративного состояния дренируемой территории. Традиционно применяемое ручное управление работой скважин, основанное на визуальном наблюдении за уровнями воды, зачастую носит субъективный и случайный характер, а следовательно, затрудняет выбор оптимальных управляющих воздействий по корректировке режима работы скважин.

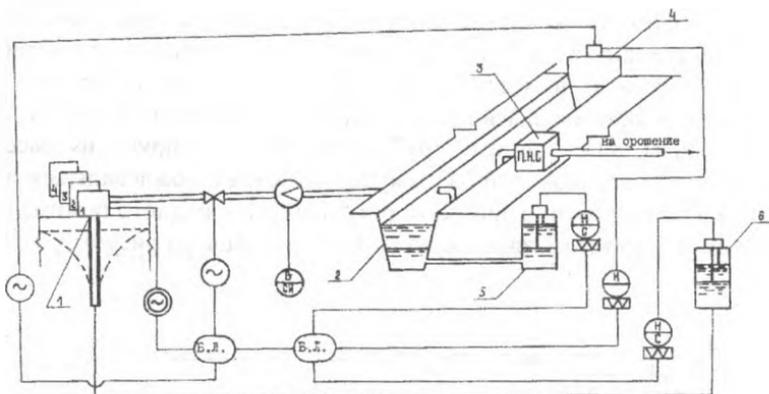


Рисунок 2 Общая схема автоматического регулирования водного режима осушительно-увлажнительной системой вертикального дренажа при заборе воды из канала: 1-дренажные скважины; 2-ограждающий зашлюзованный канал; 3 - передвижная насосная станция; 4-перегораживающее устройство; 5-датчик уровней воды в канале; 6-колодез датчиков УГВ; В.Л.-блок логики; Н-контролируемый уровень; G-контролируемый расход; С-прибор самопишущий; СИ-прибор самопишущий и интегрирующий.

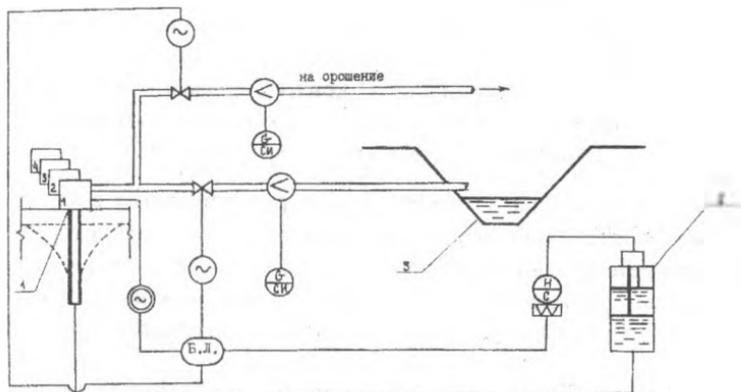


Рисунок 3 Общая схема автоматического регулирования водного режима осушительно-увлажнительной системой вертикального дренажа при подаче воды на орошение непосредственно из скважин: 1-дренажные скважины; 2-колодез датчиков УГВ; 3-сбросной канал; В.Л.-блок логики; Н-контролируемый уровень; Г-контролируемый расход; С-прибор самопишущий; СИ-прибор самопишущий и интегрирующий.

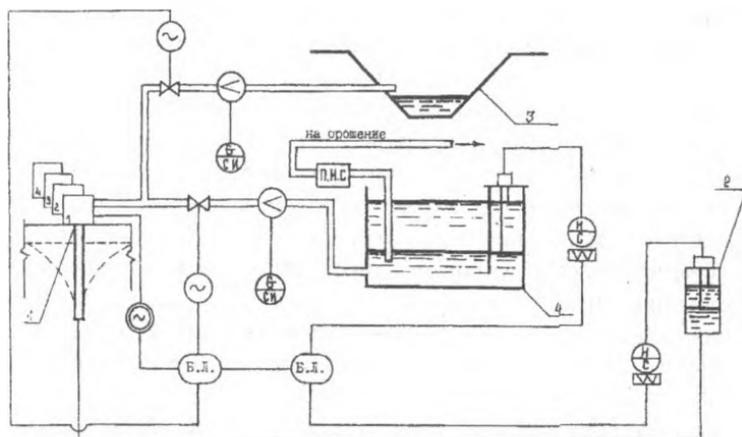


Рисунок 4 Общая схема автоматического регулирования водного режима осушительно-увлажнительной системой вертикального дренажа при подаче воды на орошение непосредственно из скважин: 1-дренажные скважины; 2-колодез датчиков УГВ; 3-сбросной канал; В.Л.-блок логики; Н-контролируемый уровень; Г-контролируемый расход; С-прибор самопишущий; СИ-прибор самопишущий и интегрирующий.

дренажа при заборе воды из бассейна суточного регулирования: 1-дренажные скважины; 2-колодец датчиков УГВ; 3-сбросной канал; 4-бассейн суточного регулирования; В.Л.-блок логики; Н-контролируемый уровень; G-контролируемый расход; С-прибор самопишущий; СИ-прибор самопишущий и интегрирующий.

Предлагаемые схемы автоматического регулирования водного режима на системах вертикального дренажа лишены указанных недостатков. Согласно приведенных выше схем запуск скважин необходим, когда УГВ повысился выше требуемой отметки; вновь подана электроэнергия после перерыва; окончен ремонт; возникла потребность в дождевании (см. рисунки 1...4).

Остановка скважин производится в следующих случаях: возник аварийный режим, уровень воды в бассейне суточного регулирования превышает допустимую отметку; уровень воды в сбросном или зашлюзованном канале выше нормы; закончен полив; УГВ понизился до требуемой отметки.

В качестве сигнализатора уровня могут использоваться электродные датчики, установленные в колодцах управления, характеризующиеся простой конструкции и высокой эксплуатационной надежностью. Их устраивают на сбросных и зашлюзованных каналах, бассейнах суточного регулирования в местах сброса или забора воды. На мелиорируемом поле, колодцы управления следует располагать в интервале  $(1/3 - 2/3) R$ , как наиболее репрезентативной зоне с точки зрения равномерного понижения УГВ при откачке[2]. Информация с колодцев управления по проводам электрической связи поступает в блок логики, где в зависимости от приоритета, вырабатывается команда на запуск или остановку агрегата соответствующей скважины (или куста скважин) вертикального дренажа. Для накопления данных о статических и динамических характеристиках вертикального дренажа, как объекта автоматизации, колодцы управления и линии напорного трубопровода снабжены регистрирующими и интегрирующими самописцами.

Применение предлагаемых (рисунки 1...4) схем автоматического регулирования водного режима позволяет: максимально снизить вероятность переосушения и подтопления сбросными и зашлюзованными каналами прилегающих территорий; исключить субъективный подход в выборе момента остановки и запуска скважин; повысить надежность насосного оборудования; рационально использовать запасы подземных вод и исключить вероятность их истощения.

### Литература

1 Мурашко А. И., Митрахович А. И., Довнар С. В. Осушение земель вертикального дренажа. - : Ураджай, 1980. - 248с.

2 Мороз М.Ф., Митрахович А.И. О выборе места установки датчиков УГВ на системах вертикального дренажа. // Мелиорация переувлажненных земель. - Мн.: Ураджай, 1989. - Т.37.-с.138-141.

## ПРОБЛЕМЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛОВЛАГОРЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

О.П. Мешик

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассматриваются проблемы количественной оценки атмосферных осадков, являющихся основным источником водных ресурсов исследуемой территории, приводятся результаты исследований пространственного распределения атмосферных осадков и отмечается их экологическая роль в процессах почвообразования и др., дается качественно новое описание расхода теплоэнергетических ресурсов климата на различные природные процессы, предлагаются расчетные зависимости.*

АТМОСФЕРНЫЕ, ОСАДКИ, НОРМЫ, СИНХРОННОСТЬ, ВЫПАДЕНИЕ,  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ, РЕСУРСЫ, ТЕПЛО, КОМПЕНСАЦИЯ,  
ТЕПЛОВЛАГООБМЕН

В тепловоднобалансовых исследованиях наблюдается тенденция к непосредственному измерению (определению) основных расчетных характеристик. Однако, экономические факторы накладывают ограничения на повсеместное использование подобного подхода, требующего сгущения опорной сети пунктов наблюдений при неизбежном расширении наблюдаемых косвенных тепловоднобалансовых характеристик на метеопунктах. В связи с этим, разрабатываются методики тепловоднобалансовых расчетов при отсутствии данных наблюдений за балансовыми элементами, основанные, как правило, на поиске корреляционных зависимостей между ними и массово наблюдаемыми характеристиками климата. Расширение целей использования балансового метода, помимо изучения естественного увлажнения и теплообеспеченности деятельной поверхности земли, вызвало необходимость

расчета тепловоднобалансовых характеристик за короткие интервалы времени. Особенно это актуализировалось в результате интенсивного развития гидромелиораций в конце 70 - х - начале 80 - х годов, когда мелиоративные мероприятия стали разрабатывать на основе результатов воднобалансовых расчетов для деятельного почвенного слоя за месячные (декадные) интервалы времени. Так, В.И.Бабкиным [1] и др. предложены методики расчетов водного баланса за короткие - до суток, интервалы времени. Такой подход позволяет оперативно корректировать режимы гидромелиораций с учетом фактической тепловлагообеспеченности земель и фактического состояния сельхозкультур.

В настоящее время, теоретические знания широко используются не только в области мелиорации и водного хозяйства Беларуси, но и в других отраслях. Наиболее актуальным, после Чернобыльской катастрофы, стало использование методов гидролога - климатических исследований и тепловоднобалансовых расчетов для целей охраны окружающей Среды и экологии.

Одним из основных погребителей тепловлагоресурсов является сельское хозяйство. Ресурсы тепла и влаги рассматриваются в комплексе, так как их рациональное использование взаимосвязано и взаимообусловлено. Например, если почва содержит оптимальное для роста растений количество влаги и питательных веществ, то максимальная эффективность фотосинтеза составляет, в вегетационный период, - 1...2% приходящей на деятельную поверхность солнечной энергии. Очевидно, что ресурсы солнечной радиации возрастают по направлению к экватору, но недостаток ресурсов влаги в южных районах не позволяет эффективно использовать имеющиеся избытки теплоресурсов. В данном случае, развитие орошаемого земледелия является одним из путей рационального использования солнечной энергии. В условиях Беларуси, которая относится к зоне неустойчивого естественного увлажнения, имеют место как избытки тепла и влаги, так и их дефициты. Суммарные ресурсы естественного увлажнения территории Беларуси определяются, главным образом, атмосферными осадками, частично, - сезонными изменениями влагозапасов в аэрированном слое почвогрунтов, а также положительным сальдо грунтовых вод, которые питаются теми же осадками, перераспределенными во времени из - за количественного несоответствия ресурсов тепла и влаги в их годовом ходе.

Исследования атмосферных осадков, как основного источника и экологического фактора в формировании водных ресурсов, позволили устано-

вить, что различные авторы, имея длительные ряды наблюдений за осадками, получают неодинаковые годовые их нормы (таблица 1), так как используют свои величины поправок на ветровой недоучет и смачивание приборов.

Различия составляют от 15 до 30% истинной годовой нормы (130...200 мм). Такое количество "возможно" неучтенных атмосферных осадков для территории Беларуси соизмеримо с оросительной нормой многолетних трав в среднезасушливый год (75%-ной обеспеченности дефицитов водопотребления). Очевидно, что использование традиционного воднобалансового метода в инженерных расчетах при таком качестве исходных данных чревато грубыми просчетами. Отсюда вытекает необходимость установления единых норм атмосферных осадков.

Таблица 1 Годовые нормы атмосферных осадков ( $X$ , мм) с поправкой на ветровой недоучет, по различным авторам и источникам

Авторы и источники	Нормы осадков по пунктам наблюдений ( $X$ , мм/год)					
	Витебск	Минск	Могилев	Гродно	Брест	Гомель
Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1987	757	800	775	671	681	694
Справочник по климату СССР, 1968	759	801	788	655	661	721
Основные данные по климату СССР, 1976	620	646	644	545	548	590
Волчек А.А., 1988	683	698	685	668	654	623
Шебеко В.Ф., 1962	600	603	633	586	540	589
Агроклиматический справочник, 1970	613	646	644	545	548	589
Голченко М.Г., 1976	-	801	-	655	661	-
$X_{\max} - X_{\min}$	157	198	144	126	141	132

Изменчивость пространственно - временного распределения атмосферных осадков и статистическая структура их полей исследованы за годовой и внутригодовые периоды, для которых получены соответствующие коэффициенты вариации  $C_v$  и построены поля изокоррелят. Поля изокоррелят представляют собой линии неправильной формы, близкой к эллиптической, и с достаточной степенью точности могут являться обоснованными границами природоохранных зон производственных комплексов [2]. Распреде-

ние атмосферных осадков по территории Беларуси представляет собой сложную картину "пятнистости", обусловленную определенным сочетанием физико-географических факторов исследуемого региона. Причины пятнистости заложены в характере общециркуляционных процессов и неоднородности подстилающей поверхности. Образуются районы, имеющие какой-либо общий признак. Одним из таких признаков является синхронность колебаний метеорологических элементов, которая была оценена вычислением парной корреляции рядов наблюдений. Составленные схемы районирования территории Беларуси по синхронности выпадения атмосферных осадков показали, что каждому месяцу присущ только свой набор пунктов, объединенных в характерном районе. Количество районов синхронного выпадения осадков колеблется от месяца к месяцу (19...45 шт). Наименьшее количество характерных районов в Беларуси приходится на март, апрель и октябрь. В эти месяцы наблюдаются фазовые изменения осадков (твердая - жидкая - твердая) при наименьшей амплитуде месячных норм. Для теплого периода (кроме июня) площади выделенных районов в северо-восточной части Беларуси - наибольшие, что, скорее всего, определяется режимом выпадения здесь осадков. Необходимо отметить, что границы выделенных нами районов часто совпадают с границами почвенных районов, водосборов и приурочены к естественным повышениям рельефа. Отмечена тесная связь очертаний границ районов синхронного выпадения дождей в июне (рисунки 1) и почвенного покрова юго-западной территории Беларуси [3].

На данной территории распространены полугидроморфные почвы. В центральной и северной части Беларуси, выделенные нами, границы районов синхронного выпадения осадков достаточно тесно увязаны с границами районов, характеризующими эродированность почв территории республики. Процесс водной эрозии на водосборах выражается ухудшением состояния их поверхности и объемом смытой почвы. В работе [4] предлагаются соответствующие расчетные методики. В итоге, можно сделать вывод, что июнь - наиболее продуктивный месяц с точки зрения главенствующего влияния климатического фактора - атмосферных осадков на процессы почвообразования.

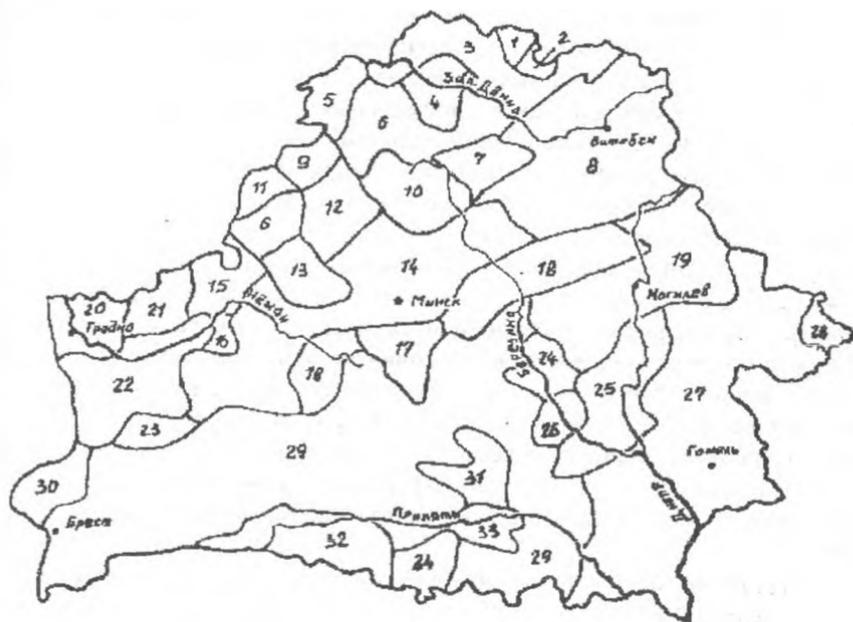


Рисунок 1 Схема районирования территории Беларуси по синхронности выпадения атмосферных осадков в июне.

Комплексное (совместное) районирование атмосферных осадков и типов почв представляет собой новизну, с точки зрения геоэкологии, имеет большой практический интерес для различных отраслей народного хозяйства и специалистов. К примеру, если в пределах установленного района синхронного выпадения дождей проводить синхронные и адекватные потребностям культурных растений гидромелиоративные мероприятия, то можно достичь такого качественного уровня управления объективно взаимосвязанными водным, тепловым и питательным режимами корнесобитаемого слоя почв, при которых эти мероприятия гармонично впишутся в природные циклы и будут экологически безопасными на эксплуатируемой территории.

В основу прикладной количественной оценки атмосферных осадков, нами положено требование возможности определения их величин в любой конкретной точке сельскохозяйственного поля. Это может быть реализова-

но введением функции  $X = f(\varphi, \lambda, H)$  (широта,  $\lambda$  - долгота,  $H$  - высота местности), согласно которой разработаны регрессионные оценочные модели норм атмосферных осадков за  $j$  - интервал времени. Сравнение месячных и годовых норм атмосферных осадков, приведенных в справочнике по климату, где использованы 70 летние и более ряды наблюдений, с нормами осадков, полученными по разработанным нами зависимостям, показало, что наибольшие ошибки не превышают 9...12%, а для большей части пунктов и месяцев находятся в пределах 5% [4].

Среднесуточные значения атмосферных осадков на территории Беларуси получены разложением аппроксимирующей функции в ряд Фурье. Моделирование процесса выпадения атмосферных осадков различной обеспеченности позволяет получить любое количество его реализаций и, следовательно, любое количество реализаций процесса управления водным балансом (режимом) на исследуемом уровне. Например, управление водным балансом процесса тепловлагомассообмена на уровне деятельной поверхности водосборов исключает потерю информации, позволяет привлекать смоделированные ряды балансовых элементов оптимальной продолжительности.

Приходящая на земную поверхность солнечная энергия, которая с определенной закономерностью распределяется по территории, формирует теплоэнергетические ресурсы климата и активно участвует в процессах тепло-влагообмена, может быть рассчитана более точно при условии вскрытия сложных взаимодействий компонентов климатической системы: Солнце - атмосфера - подстилающая поверхность. Солнце - основной энергетический источник формирования климата на Земле. Интенсивность солнечного излучения для реального пункта исследуемой территории представляется функцией  $Q = f(\varphi, \lambda, H, t)$  (время). В процессе тепло-влагообмена происходит преобразование солнечного тепла в другие виды энергии и аналитическая запись закона превращения и сохранения энергии представляет собой уравнение теплоэнергетического баланса, где основным членом, отражающим тепло-влагообмен на уровне подстилающей земной поверхности, является  $(LZ)$  - тепло, затрачиваемое на суммарное испарение. Из балансового уравнения выделяются те ресурсы климата, которые, в комплексе, формируют испаряющую способность приземного слоя воздуха - максимально возможное суммарное испарение  $(LZ_m)$ . Расчет годовых норм  $Z_m$  произведен по методикам с известной структурой [5], в результате чего получены нормы максимально возможного испарения для ряда пунктов Беларуси, однако, в

сравнении с нормами  $Z_{\text{нр}}$ , определенными другими авторами они оказались несколько завышенными (таблица 2).

Таблица 2 Годовые нормы максимально возможного испарения ( $Z_{\text{нр}}$ , мм) на территории Беларуси по различным авторам

Станция	Параметры						
	$R_n$ кал/ /см <sup>2</sup>	$R_n^+$ кал/ /см <sup>2</sup>	$R_n^+$ кал/ /см <sup>2</sup>	$Z_{\text{нр}}$ , мм по Мезенцеву, Карнацкому	$Z_{\text{нр}}$ , мм по Голченко	$Z_{\text{нр}}$ , мм по Волыску	$Z_{\text{нр}}$ , мм автор
Верхне- двинск	39	49	4	711	685	707	871
Витебск	39	50	4	745	710	711	884
Минск	40	50	4	748	713	733	888
Марьяна Горка	40	50	4	750	714	736	892
Лида	40	50	4	756	718	756	898
Гродно	41	51	3	774	732	782	910
Горки	39	49	4	739	706	684	881
Могилев	40	50	4	754	717	767	894
Пинск	42	52	3	805	756	808	924
Брест	42	53	3	819	766	862	934
Гомель	41	51	3	793	746	836	913
Васи- левичи	41	51	3	789	743	852	914

Очевидно, что теплоэнергетические ресурсы ( $R^+$ ,  $P^+$ ) - соответственно, положительные составляющие радиационного баланса и турбулентного теплообмена приземной атмосферы, представленные в методике [5], расходуются помимо процесса суммарного испарения на другие процессы, установить которые стало возможным через вскрытие механизма формирования динамики внутригодового хода всех составляющих  $LZ_{\text{нр}}$ . Корректное решение задачи получается при расчете максимально возможного испарения за более короткие интервалы времени (месяцы, декады, пентады, сутки). С последующим суммированием этих величин и получением годовых норм. Ограничения в объеме данной статьи не позволяют привести все разработанные расчетные методики, однако, необходимо отметить, что в ходе исследований и аналитических расчетов выявлена часть теплоэнергетических ресурсов, расходующихся на компенсацию потоков холода - отрицательная адвективная составляющая турбулентного теплообмена приземной

атмосферы ( $P_a^-$ ). Качественное и количественное описание этого процесса выполнено ниже.

Обычно, температура земной поверхности не равна температуре вышележащих слоев воздуха, в следствие чего, имеет место теплообмен, обусловленный турбулентной теплопроводностью воздуха. Схема векторов турбулентного теплообмена приземной атмосферы представлена на рисунке 2 и включает в себя положительные и отрицательные потоки конвективного  $P_k^+$ ,  $P_k^-$  и адвективного тепла  $P_a^+$ ,  $P_a^-$ .

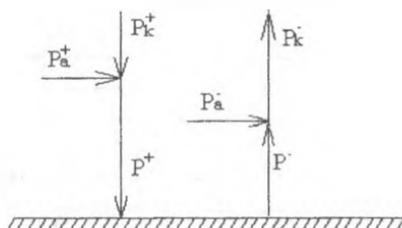


Рисунок 2 Схема векторов турбулентных потоков приземной атмосферы.

Поток конвективного тепла ( $P_k^+$ ) имеет вертикальное направление, считается положительным и направленным к земной поверхности при более низком теплосодержании подстилающей поверхности, чем более высокие слои приземной атмосферы. И наоборот,  $P_k^-$  - направлен от нагретой подстилающей поверхности к холодным верхним слоям воздуха. Результирующая конвективного потока тепла находится через градиент температуры  $\text{grad} t = t_n - t_z$ , где  $t_n$  - температура подстилающей поверхности;  $t_z$  - температура воздуха на высоте -  $z$ . Так как величина конвективного тепла представляет собой незначительную часть положительной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы, формирующей теплоэнергетические ресурсы климата, абсолютная ошибка расчетных величин мала. Основную долю тепла составляет тепло адвекции, получаемое в результате горизонтального переноса воздушных масс. Положительной считается составляющая  $P_a^+$ , при более высоком теплосодержании воздушных масс, приносимых с других территорий, чем теплосодержание подстилающей поверхности исследуемой территории. Величина  $P_a^-$  имеет место в случае

прихода извне холодных воздушных масс (так называемая адвекция холода). Величина  $P_r^+$ , входящая в уравнение

$$LZ_{mr} = R_r^+ + P_r^+, \quad (1)$$

представляет собой алгебраическую сумму потоков  $P_{ar}^+ + P_{kr}^+ = P_r^+$ . Однако, уравнение (1) характеризующее теплоэнергетические ресурсы климата, идущие на процесс суммарного испарения, не учитывает расход тепла на компенсацию потоков холода, предопределяемых, в основном, величиной  $P_{ar}^-$ , а суммарно  $P_r^- = P_{ar}^- + P_{kr}^-$ . Как уже было отмечено, тепловой режим Беларуси формируется, в большей степени, коротковолновой составляющей солнечной радиации, но существенный вклад в процесс формирования теплоэнергетических ресурсов климата вносит атмосферная циркуляция. В результате, оказывается значительным влияние морского воздуха Атлантики. Влияют на климат Беларуси и внутриматериковые воздушные массы. Так, Арктический воздух, проникая на исследуемую территорию, всегда вызывает резкое похолодание. При этом, температура приземного слоя воздуха зимой может достигать ниже  $-(40)^\circ\text{C}$ , а летом  $+(8...12)^\circ\text{C}$ , при нормах  $-(7)^\circ\text{C}$ ,  $+(18)^\circ\text{C}$ , -, соответственно. Влияние на климат Беларуси тропических воздушных масс менее выражено, чем влияние воздушных масс умеренных широт и Арктики. Оно сказывается, в основном, на юго-востоке Полесья, куда тропические воздушные массы приносят жару и сухость в виде потока тепла  $P_a^+$ . С учетом вышесказанных замечаний, уравнение (1) для оценки максимально возможного испарения в средний многолетний год запишется в виде

$$LZ_{mr} = R_r^+ + P_r^+ - P_r^- = R_r^+ \pm \Delta P_r. \quad (2)$$

Нормы  $Z_{mr}$ , полученные автором по уравнению (1), оказались завышенными на величину тепла, компенсирующего потоки приносимого холода ( $P_r^-$ ); в среднем для Беларуси это  $7,6...8,0$  ккал/см<sup>2</sup>год. Исследования, проведенные нами позволили установить широтный характер распределения тепла, идущего на компенсацию холодных воздушных масс ( $P_r^-$ ), и зависимости, предлагаемые к практическому использованию, имеющие вид:

$$P_r^- = -81,91 + 1,69 \varphi, \quad \text{при } r = 0,78 \pm 0,06; \quad (3)$$

или

$$P_r^- = 45,94 - 0,016 \sum t > 10^\circ\text{C}, \quad \text{при } r = -0,81 \pm 0,06. \quad (4)$$

На нагревание потока холодных масс ( $P_a^-$ ) расходуется части потока тепла из почвы ( $B^+$ ), положительной составляющей радиационного баланса ( $R^+$ ), тепла конвекции ( $P_k^+$ ), тепла, выделяемого при конденсации водяных паров ( $LC$ ) и при фазовых переходах воды ( $\Delta LZ_m$ ). При расчете максимально возможного испарения за более короткие, чем годовой, интервалы времени - ( $i$ ), происходит дифференцированный учет этих теплотоков, суммарно составляющих поправку к  $Z_{mi}$ . На рисунке 3 представлен внутригодовой ход тепла, идущего на компенсацию адвективной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы ( $P_{ai}$ ).

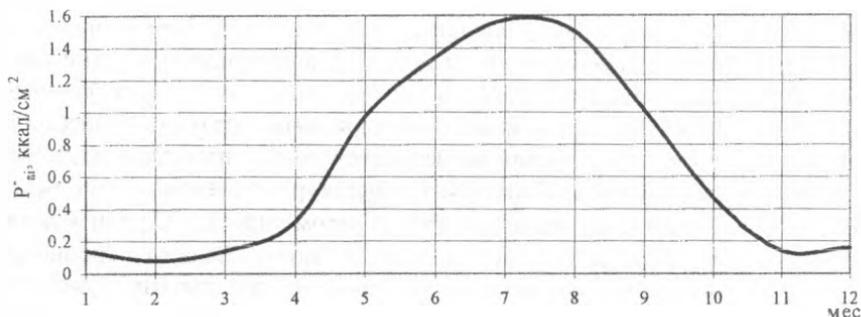


Рисунок 3 Внутригодовой ход тепла, идущего на компенсацию адвективной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы ( $P_{ai}$ ).

Как видно из рисунка 3, наибольшее количество тепла, идущего на компенсацию  $P_{ai}$ , приходится на летние месяцы. Это связано с тем, что величина турбулентного теплообмена зависит не только от его интенсивности на некоторой высоте от подстилающей земной поверхности, но и от условий теплопроводности атмосферы, определяемой, в большей степени, ее влажностью. По данным [6], на летние месяцы приходится наибольшее влагосодержание атмосферы, соответственно, - 21, 26, 24 мм, а во внутригодовом ходе влагосодержание и  $P_{ai}$  следуют синхронно. Это делает возможным проводить косвенную оценку тепла компенсации ( $P_{ai}$ ) по ее связям с влагосодержанием атмосферы ( $W_{атм i}$ , мм). Для Беларуси предлагается зависимость вида

$$P_{ai} = -0,54 + 0,084 W_{атм i}, \quad \text{при } r = 0,98 \pm 0,01. \quad (5)$$

В аналитические зависимости, содержащие величины ( $R$ ,  $P$  и  $B$ ), для приведения их к единицам измерения системы СИ необходимо вводить поправочный коэффициент ( $k$ ) из расчета  $1 \text{ ккал/см}^2 = 41,9 \text{ Дж/м}^2$ .

Разработанные методики количественной оценки составляющих теплоресурсов климата, в особенности за суточные интервалы времени, позволяют объективно оценить ту часть энергии, которая тратится на процесс суммарного испарения. Суммарное испарение, в свою очередь, является связующим звеном в процессе обмена тепла и влаги на подстилающей земной поверхности, выступает одной из основных расходных характеристик уравнения водного баланса.

В итоге, необходимо отметить, что, в рамках исследований по разработке рациональных и экологически безопасных моделей управления процессом тепловлагообмена в границах сельскохозяйственного поля, видится модель природно-хозяйственной системы, в которой будет осуществляться непрерывная текущая (посуточная) оценка почвенных влагозапасов (на  $n$  - суток), и корректировка прогнозируемых характеристик с учетом фактической тепловлагообеспеченности сельскохозяйственного поля.

#### Литература

- 1 Бабкин В.И. Взаимосвязь элементов водного баланса речных бассейнов. - Труды ГГИ. - 1979. - Вып.260. - С.26-38.
- 2 Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. К вопросу установления границ природоохранных зон производственных комплексов // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии / Под ред. А.И.Свириденка. - Гродно, 1995. - Часть I. - С.327-334.
- 3 Почвы Белорусской ССР / Под ред. Т.Н.Кулаковской, П.П.Рогового, Н.Н. Смеяна. - Мн.: Уралжай, 1974. - 328с.
- 4 Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Исследование и моделирование процесса формирования атмосферных осадков на территории Беларуси. - Деп. в ин-те "Белинформпрогноз" 12.12.1995, №Д199560. - 62с.
- 5 Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно - Сибирской равнины. - Л.: Гидрометеониздат, 1969. - 168с.
- 6 Кузнецова Л.П. Атмосферный влагообмен над территорией СССР. - М.: Наука, 1983. - 174с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

В.Ю. Цилиндь

Вычислительный центр, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассмотрены вопросы определения смещения статистических параметров гидрологических рядов с целью улучшения качества предпроектных исследований и расчетов.*

СМЕЩЕНИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЙ, ПАРАМЕТР, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ, РЯД

Гидрологические расчеты связаны с получением информации, косвенно характеризующей сток в будущем, на основе данных многолетних наблюдений. Однако, из-за отсутствия достаточно длинных (стремящихся к бесконечности) рядов гидрометрических наблюдений, нет возможности расчетным путем определить теоретическую вероятность. Задача определения характерных расходов воды различной вероятности превышения (обеспеченности), в этом случае, сводится к нахождению эмпирического решения, приближенно выражающего неизвестный закон распределения вероятностей.

В гидрологии, для экстраполяции эмпирической кривой обеспеченности, применяется ряд типовых математических кривых распределения. Наиболее известные и часто используемые: биномиальная кривая распределения (кривая Пирсона III типа), трехпараметрическое гамма-распределение, разработанное С.Н. Крицким и М.Ф. Менкелем, распределение Гудрича и ряд других.

Основными статистическими параметрами кривых распределения вероятностей годового стока являются:

$$\text{среднеарифметическое значений ряда (норма) - } Q = \frac{\sum Q}{n}; \quad (1)$$

$$\text{характеристики изменчивости - } C_v = \sqrt{\frac{\sigma}{Q}}; \quad (2)$$

$$\text{и асимметричности - } C_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q)^3}{n\sigma^3}} \quad (3)$$

Однако, при непродолжительных рядах наблюдений, точность определения величин  $Q$ ,  $C_v$  и  $C_s$  снижается, что вызывает их смещение относительно несмещенных значений  $Q'$ ,  $C_v'$ ,  $C_s'$ , вычисленных для достаточного ряда наблюдений. Кроме того, теоретически строгих рекомендаций для вывода уравнений кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик нет, и за счет смещения основных статистических характеристик можно получить более точную их математическую аппроксимацию. Например, выбор расчетного значения коэффициента асимметрии ( $C_s$ ) часто осуществляется при построении нескольких аналитических кривых обеспеченности, соответствующих различным величинам  $C_s$ , или  $C_s/C_v$ . В качестве расчетного принимается то значение рассматриваемого параметра, при котором достигается лучшее соответствие аналитической кривой расположению эмпирических точек. Математически задачу можно сформулировать следующим образом

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{т.р. i} - Q_{э.р. i})^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $S^2$  - сумма квадратов отклонений;  $Q_{т.р. i} = f(Q, C_v, C_s, p)$  и  $Q_{э.р. i} = f(n, m, p)$  - ординаты, соответственно, теоретической и эмпирической кривых обеспеченности;  $p$  - обеспеченность.

По данным гидрометрических наблюдений вычисляются - норма годового стока ( $\bar{Q}$ ), коэффициенты  $C_v$  и  $C_s$  (т.е. первый, второй и третий моменты эмпирической кривой распределения) и, с использованием таблиц интеграла соответствующей кривой обеспеченности, строится теоретическая кривая, которую можно экстраполировать до нужных пределов обеспеченности. Поскольку, на практике, длительность рядов наблюдений обычно небольшая, т.е. используется не генеральная, а выборочная совокупность малой длительности - значения статистических параметров -  $\bar{Q}$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  имеют соответствующие ошибки ( $\sigma_{\bar{Q}}$ ,  $\sigma_{C_v}$ ,  $\sigma_{C_s}$ ):

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100, \quad (5)$$

$$\sigma_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} \cdot 100, \quad (6)$$

$$\sigma_{Cs} = \pm \frac{1}{Cs} \sqrt{\frac{6}{n} \cdot (1 + 6Cv^2 + 5Cv^2)} \cdot 100. \quad (7)$$

Таким образом, несмещенные величины статистических характеристик ( $Q'$ ,  $Cv'$ ,  $Cs'$ ) находятся в интервалах: минимальное ... максимальное значения соответствующего параметра.

*Алгоритм поиска несмещенных параметров* распределения величин годового стока рек в настоящей работе следующий.

По выражению (4), при минимальных статистических параметрах -  $Q_i$ ,  $Cv_i$ ,  $Cs_i$

$$Q_i = \bar{Q} \cdot \left(1 - \frac{Cv_i}{\sqrt{n}}\right); \quad Cv_i = Cv \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 + Cv^2}{2n}}\right); \quad Cs_i = Cs \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{6}{n} \cdot (1 + 6Cv^2 + 5Cv^4)}\right), \quad (7)$$

определяется остаточная дисперсия ( $S^2$ ).

Затем, каждый из параметров, поочередно, получает приращение, равное его шагу варьирования, определяется дисперсия, проверяются условия:

$$S_i \leq S_{\min}; \quad (8)$$

$$Cs \cdot \sqrt{\frac{6}{n} \cdot (1 + Cv^2 + 5 \cdot Cv^4)} + \Delta Cs \cdot m < Cs + \sqrt{\frac{6}{n} \cdot (1 + Cv^2 + 5 \cdot Cv^4)}. \quad (9)$$

Если условия (8) и (9) выполняются, то  $Cs$  получает новое приращение,  $S_{\min}$  приравнивается к  $S_i$  и определяется значение дисперсии при новых параметрах. При невыполнении условий (8), (9),  $Cs$  получает значение

$$\left( Cs - \sqrt{\frac{6}{n} \cdot (1 + 6 \cdot Cv^2 + 5 \cdot Cv^4)} \right), \quad \text{а } Cv \quad - \quad \text{принимается равным}$$

$$\left( Cv - Cv \cdot \sqrt{\frac{1 + Cv^2}{n}} + \Delta Cv \cdot L \right) \quad \text{и рассчитывается новое значение остаточной дисперсии.}$$

Расчеты выполняются до полного перебора сочетаний статистических параметров годового стока в рассматриваемом диапазоне и отыскания минимальной дисперсии. Параметры ( $Q'$ ,  $Cv'$ ,  $Cs'$ ), соответствующие минимуму остаточной дисперсии, принимаются за несмещенные.

При оценке степени смещения статистических характеристик и тесноты связи эмпирических точек с теоретической кривой распределения, исследованы ряды наблюдений за стоком более чем по 100 рекам Беларуси. Срав-

нения теоретических распределений, подбор оптимального соотношения параметров стока  $Q$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  проводились при использовании критерия Фишера, с увеличением которого возрастает теснота связи эмпирической и теоретической кривых распределения. Графическая интерпретация этого положения представлена на рисунке 1. На оси  $Y$  представлены величины относительного (в сравнении с наибольшим значением) отклонения ( $\Delta F$ ) критерия Фишера ( $F$ ) по каждому распределению. Для смещенных значений статистических характеристик, трехпараметрическое гамма-распределение и распределение Пирсона III дают аналогичные результаты ( $\Delta F_{cp}$  равны, соответственно, 29,2% и 27%). Из результатов статистического анализа видно, что на 95% -ном уровне значимости не может быть принята гипотеза о различии их средних и дисперсий. Распределение Гудрича, на этом фоне, дает худший результат. Смещение  $\bar{Q}$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  несколько улучшает результаты аппроксимации, доводя их до уровня значений смещенных характеристик двух других распределений. В случае трехпараметрического гамма-распределения, смещение статистических характеристик ряда значений стока позволяет снизить отклонение, практически, в два раза (с 29,2% до 15%). Однако, наилучшие результаты получены с использованием распределения Пирсона III, где относительное отклонение критерия Фишера для несмещенных значений составило 4,8%.

Исследования показывают, что в 57,5% случаев предпочтительнее оказывается распределение Пирсона III, в 28,5% случаев - трехпараметрическое гамма-распределение и в 15% - Гудрича. Выявить какие-либо связи между гидрографическими характеристиками водосборов и предпочтительным видом распределения вероятностей речного стока не удалось. Поэтому, выбор типа распределения, при расчетах обеспеченных величин стока, нами осуществляется с использованием статистических критериев, характеризующих степень тесноты связи теоретического распределения и эмпирической кривой обеспеченностей. Важное значение, при этом, имеет использование несмещенных оценок параметров кривой распределения.

Анализ корреляционной матрицы основных статистических параметров выборок (длины ряда -  $N$ ,  $\bar{Q}$ ,  $C_v$ ,  $C_s$ , коэффициента автокорреляции -  $R(1)$ , соотношения -  $C_s/C_v$ ) и необходимого смещения параметров распределения стока -  $S_Q$ ,  $S_{C_v}$ ,  $S_{C_s}$ ,  $S_{C_s/C_v}$  дал возможность очертить круг факторов, на основании которых могут быть получены зависимости для введения соответствующих поправок на смещение (таблица 1).

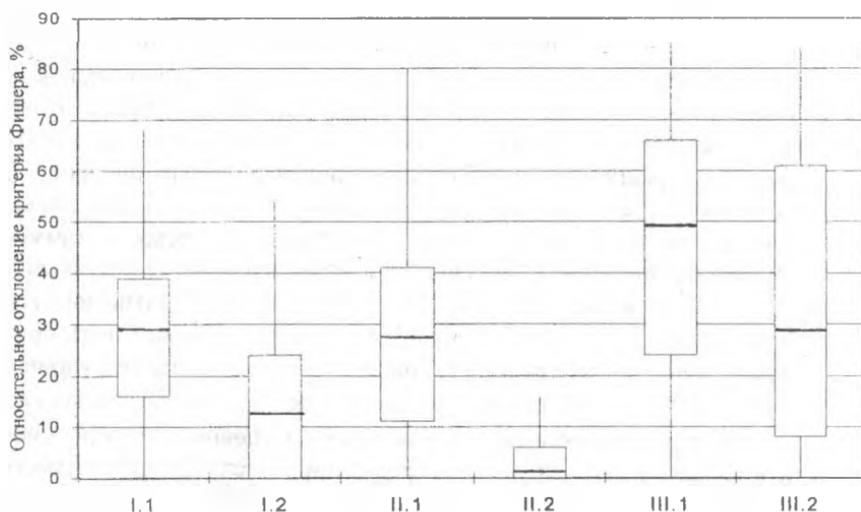


Рисунок 1 Относительное отклонение критерия Фишера при смещенных (1), несмещенных (2) значениях  $\bar{Q}$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  и различных типах кривых распределения: I - трехпараметрическое; II - Пирсона-III; III - Гудрича.

Очевидно, что для трехпараметрического гамма-распределения смещение среднего значения стока ( $S_Q$ ) в большей степени зависит от длины ряда ( $N$ ) и коэффициента асимметрии ( $C_s$ ). Однако, ввиду того, что смещение в среднем не превышает 3%, в практических расчетах им можно пренебречь.

Влияние гидрографических характеристик водосбора на смещение статистических параметров гидрологических рядов ( $S_i$ ) четко прослеживается на водосборах с площадью до 3000 км<sup>2</sup>. Наиболее тесными являются связи смещения ( $S_Q$ ) с площадью водосбора, а также с его заболоченностью, заlesenностью и заозеренностью.

Таблица 1 Коэффициенты парной корреляции между смещением ( $S_i$ ) параметров теоретических кривых распределения и статистическими характеристиками гидрологических рядов

Статистические характеристики рядов стока	$S_Q$	$S_{Cv}$	$S_{Cs}$	$S_{Cs/Cv}$
	Трехпараметрическое гамма-распределение			
N	-0,50	-0,47	0,02	0,04
Q	-0,36	-0,23	0,00	0,03
Cv	0,33	-0,12	0,36	0,38
Cs	0,53	0,17	-0,62	-0,64
R(1)	-0,27	-0,47	0,39	0,44
Cs/Cv	0,26	0,02	-0,67	-0,68
	Распределение Пирсона III типа			
N	0,24	-0,27	0,24	0,30
Q	-0,25	-0,03	0,20	0,22
Cv	0,33	-0,09	0,05	0,03
Cs	0,41	-0,44	-0,80	-0,81
R(1)	-0,08	-0,20	0,27	0,37
Cs/Cv	0,13	-0,46	-0,72	-0,69

Значительному смещению подвержены значения коэффициента вариации ( $Cv$ ). Для исследованных гидрологических рядов  $S_{Cv}$  колеблется от 67% до 21%. При трехпараметрическом гамма-распределении наибольшее влияние на смещение  $S_{Cv}$  оказывает длина выборки (рисунок 2) и величина внутрирядной связи, характеризуемая коэффициентом автокорреляции -  $R(1)$ .

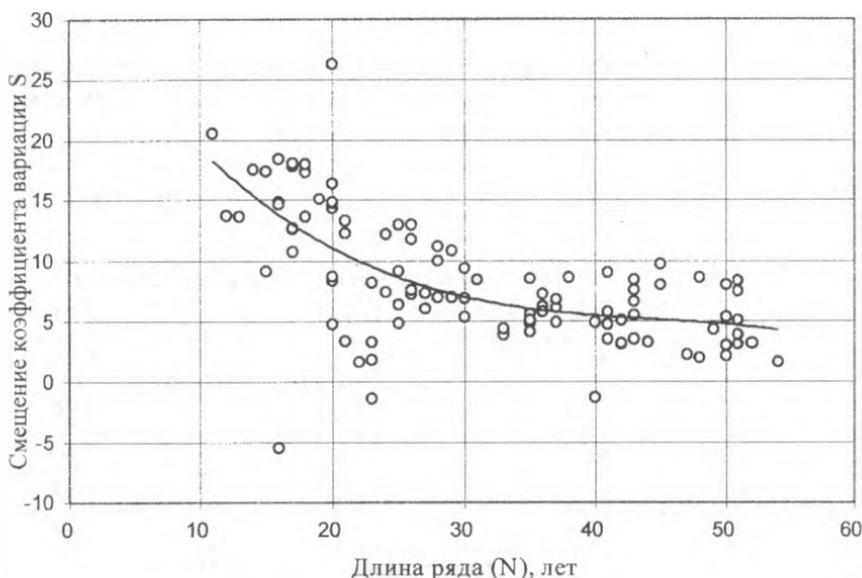


Рисунок 2 Зависимость смещения коэффициента вариации ( $S_{cv}$ ) от длины ряда (N) для случая трехпараметрического гамма-распределения.

Как видно из графика (рисунок 2), более точное соответствие кривой трехпараметрического гамма-распределения эмпирическим данным наблюдается при увеличении полученных по формуле (5) значений  $S_{cv}$  на 5%, при длине ряда - 50 лет, и до 15%, при 15-ти летнем ряде наблюдений. При исследовании влияния на смещение ( $S_{cv}$ ) продолжительности ряда наблюдений, необходимо учитывать временную приуроченность выборки к полупериоду цикличности многолетних колебаний годового стока.

Смещение коэффициента асимметрии ( $S_{Cs}$ ) хорошо коррелируется с величиной смещенных характеристик  $C_s$  (таблица 1). В случае распределения Пирсона III, связь смещения коэффициента асимметрии ( $S_{Cs}$ ) со значениями смещенных оценок  $C_s$  может быть описана логарифмически убывающей зависимостью.

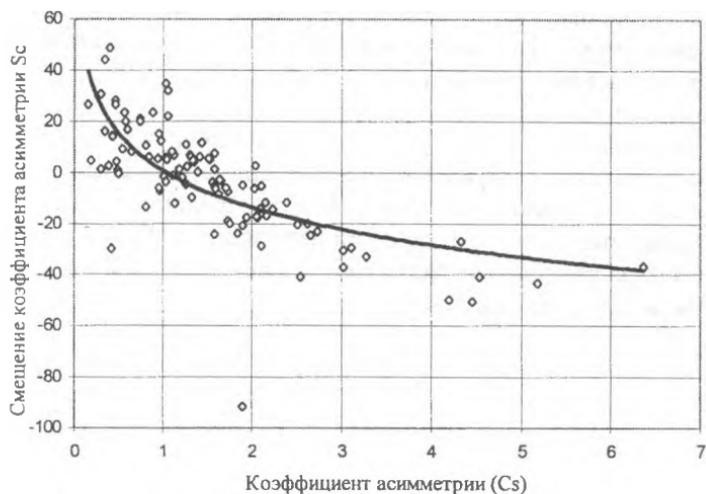


Рисунок 3 Зависимость смещения коэффициента асимметрии ( $S_{Cs}$ ) от смещенной величины  $Cs'$  (распределение Пирсона III).

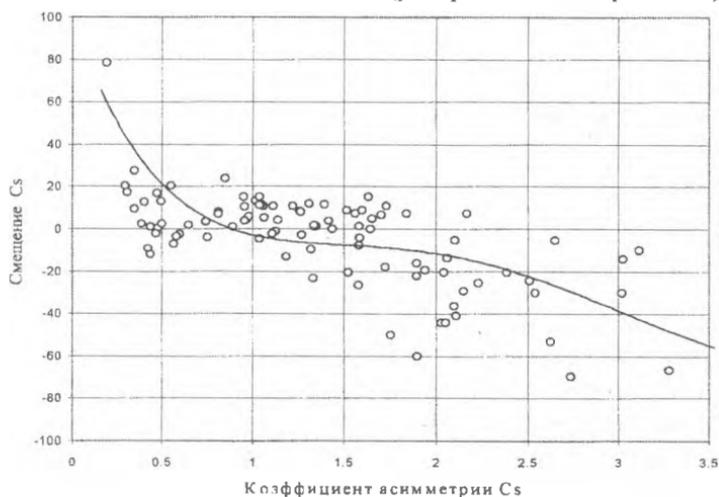


Рисунок 4 Зависимость смещения коэффициента асимметрии ( $S_{Cs}$ ) от величины смещенных оценок  $Cs'$  (трехпараметрическое гамма-распределение).

Как видно из рисунка 3, смещенные и несмещенные значения коэффициента асимметрии совпадают только при  $C_s=1$ . Корректировка значений коэффициента асимметрии позволяет приблизить кривую распределения к эмпирическим точкам.

Для трехпараметрического гамма-распределения установлены нелинейные связи смещений коэффициента асимметрии ( $S_{cs}$ ) со смещенной величиной  $C_s'$  и соотношением  $C_s/C_v$  (рисунки 4, 5). Представленная на рисунке 5 кривая, характеризуется двумя точками перегиба (при  $C_s=0,5$  и  $C_s=1,5$ ).

Более тесная связь наблюдается между смещением соотношения  $S_{C_s/C_v}$  и смещенными значениями  $C_s/C_v$ .

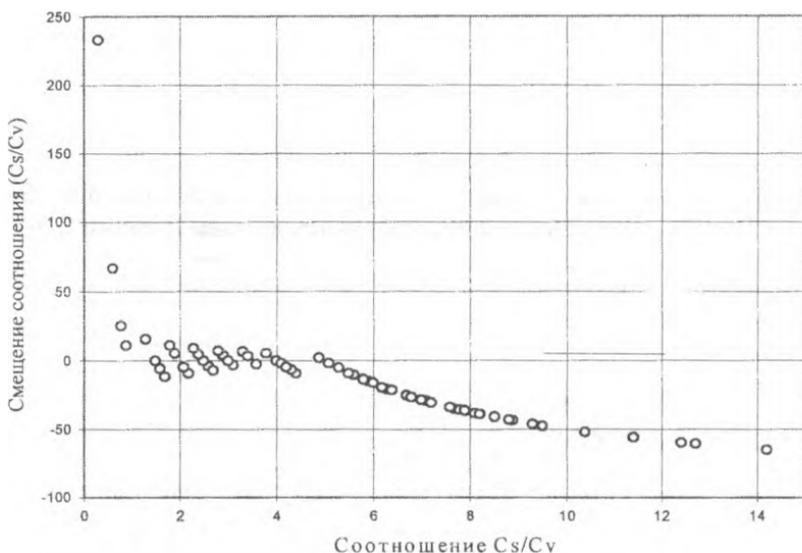


Рисунок 5 График связи смещения ( $S_{C_s/C_v}$ ) с величиной соотношения  $C_s'/C_v'$ .

Использование полученных в настоящей работе зависимостей при разработке машинных программ для определения вида и параметров кривых распределения годового стока позволяет сократить время поиска оптимальных соотношений -  $Q$ ,  $C_v$ ,  $C_s$ , и  $C_s/C_v$ . В случае ручного счета, введение поправок на смещение основных статистических характеристик годового стока позволяет повысить точность гидрологических расчетов, в целом.

Литература

- 1 Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1960.-327с.
- 2 Ресурсы поверхностных вод СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1968 - т.5. - ч.1 - 718 с.

**ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ  
РЕСУРСОВ КЛИМАТА—ОСНОВА РАЗМЕЩЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

**В.В. Лукша**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассматриваются вопросы гидролого-климатической оценки ресурсов климата, с экологической точки зрения, при размещении производственных комплексов, прогнозной оценки изменений природной среды при антропогенном воздействии на ее компоненты.*

**ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ, СОСТАВЛЯЮЩИЕ, КЛИМАТ, РАЗМЕЩЕНИЕ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ, КОМПЛЕКСЫ, ТЕРРИТОРИЯ, БЕЛАРУСЬ**

В прошлом, всеми сферами экономической деятельности управляло государство. При этом, Беларуси отводилась роль "сборочного конвейера Союза". Республика специализировалась на трудоемких и требующих высокой квалификации видах промышленной деятельности (машиностроении, текстильной, деревообрабатывающей промышленности, производстве мясо-молочной, нефте-химической продукции, минеральных удобрений и др.). Беларусь была нетто – импортером энергии, продукции металлургии и сельского хозяйства и нетто - экспортером машин, оборудования и ряда потребительских товаров. Поэтому, вопрос о размещении производственных комплексов на территории Беларуси, с учетом гидролого - климатических условий природной Среды, не был достаточно корректно проработан, в качестве доминант выступали частные факторы (наличие производительных сил, обеспеченность производства водными ресурсами и полезными ископаемыми и т.д.).

С обострением экологической обстановки в зоне промпредприятий, атомных станций, животноводческих комплексов и др. вредных производств, очень остро встал вопрос о *мониторинге окружающей Среды*, обеспечивающем постоянное и надежное слежение за состоянием окружающей человека природы и предупреждение о создающихся критических ситуациях. В связи с этим, задача исследования состояния гидролого-климатической изученности территории Беларуси и сопредельных территорий, формирование банка гидрометеорологических и др. экспериментальных данных, исходя из контекста реализуемой научной гипотезы. Кроме этого, необходимо пополнять существующие базы фактических данных полевых гидролого-климатических, почвенно-мелиоративных и др. исследований и экспериментов (из ведомственных фондов и стационаров), данных отраслевых исследований, характеризующих производственную и санитарно-экологическую составляющие деятельности предприятий.

Наряду с мониторингом окружающей Среды, должен осуществляться *экологический аудит*.

Мониторинг окружающей Среды и экологический аудит тесно связаны с оценкой конкретных гидролого-климатических показателей состояния природного комплекса – теплоэнергетических и водновоздушных ресурсов климата, речного и подземного стока и т.д. Данные показатели необходимо оценивать за короткие интервалы времени (декады, пентады, сутки), это дает возможность оперативно отслеживать изменение природной Среды в зоне влияния производственных комплексов, и, при применении комплекса соответствующих мероприятий, предотвращать негативные влияния на прилегающие территории. Эти возможности реализуются в условиях информационно-советующей системы (ИСС), имеющей в качестве входных характеристик все необходимые исходные данные (за многолетний период и измеренные за данный промежуток времени), оперативно поступающие из расположенных по определенной системе гидролого-климатических стационаров или рассчитываемые по специальным прогнозным методикам оценки показатели природной Среды за короткие интервалы времени. В качестве выходных характеристик выступают сравнительные гидролого-климатические показатели (атмосферных осадков, состояния воздуха, грунтовых и подземных вод, стока рек и т.д.). При этом, в зависимости от степени автоматизации ИСС, возможны два варианта действий: *первый* – ИСС на этом заканчивает свою работу, предоставляя оператору выбор конкретных мер воздействия на природный комплекс с целью стабилизации вред-

ных возмущений, вызванных резким ухудшением состояния окружающей Среды на основании полученной информации от системы; *второй* – ИСС всеми доступными средствами, в зависимости от степени ее совершенства (обученности) и экологической ситуации, сама моделирует ответные действия на вредные возмущения, а затем, через специальные приспособления на гидролого-климатических стационарах, воздействует непосредственно на окружающую Среду. Поэтому, для более точной (оптимальной) оценки сложившейся экологической ситуации в зоне производственных объектов, необходимо точно оценить все исходные данные, т.е. гидролого-климатические показатели исследуемой территории.

Теплоэнергетические ресурсы климата являются двигательной силой процесса тепловлагообмена в системе: атмосфера – подстилающая поверхность – грунтовые (подземные) воды. Физические механизмы теплообмена можно представить уравнением теплового (энергетического) баланса подстилающей поверхности

$$R^+ + P^+ + B^+ + C = LZ + P^- + B^- + I_H, \quad (1)$$

где  $R^+ = R_k - I_c$  - коротковолновый приход энергии в светлое время суток, в которой  $I_c$  - эффективное излучение в этом процессе;  $P^+$  - конвективный приток тепла от атмосферы к деятельному (испаряющему) слою;  $P^-$  - увеличение теплосодержания приземного воздуха за счет его турбулентного теплообмена с деятельной поверхностью;  $B^+$ ,  $B^-$  - соответственно, увеличение (+) и уменьшение (-) теплосодержания деятельного слоя;  $C = c' + Lc$  - приход в деятельный слой тепла гидрометеоров ( $c'$ ), имеющих более высокую, чем земная поверхность, температуру и тепла конденсации ( $Lc$ ), в котором  $L$  - удельная теплота испарения воды, равная  $2,512 \text{ Мдж/м}^2 \cdot \text{мм}$ ,  $c$  - конденсация в деятельный слой;  $I_H$  - эффективное излучение за радиационно-темное время (года);  $LZ$  - затраты тепла на процесс суммарного испарения ( $Z$ ).

Ранее решена задача определения на территории Полесья связей  $R_i / R_i^+$ , посуточно на основании использования декадных их значений [3].

Аналитическое выражение данной зависимости имеет вид

$$R_i / R_i^+ = -0,243 + 4,079 \cdot 10^{-3} t - 1,100 \cdot 10^{-5} \cdot t^2, \quad (2)$$

при коэффициенте корреляции -  $R=0,92$ .

Закон сохранения материи, применительно к процессу влагообмена земной поверхности и атмосферы, математически представляется в виде уравнения водного баланса, которое в целом для среднего многолетнего периода (года) приобретает вид

$$KX = Z + Y, \quad (3)$$

где  $KX$  - действительная сумма атмосферных осадков, то есть вся конденсационная влага, приходящая из атмосферы на земную поверхность;  $Z$  - суммарное испарение;  $Y$  - суммарный сток.

Благодаря работам многих ученых (А.А. Григорьев, М.И. Будыко и др.), установлено, что структуры водного и теплового балансов любого участка суши тесно связаны между собой и взаимно обусловлены. Этот принцип положен в основу метода гидролого-климатических расчетов (ГКР), разработанного профессором В.С. Мезенцевым в 1957 году.

Новизна нашего подхода к определению исходных данных для метода ГКР заключается в их моделировании за короткие интервалы времени (декады, сутки), что повышает точности теоретических оценок воздействий производственных комплексов на природную Среду, в т.ч. с учетом краткосрочной перспективы.

В результате комплексного исследования стокоформирующих факторов, с использованием данных о антропогенных воздействиях на водосборы и методов математической статистики, получены полуэмпирические физико-математические модели оценки годового стока, максимального стока весеннего половодья и минимального стока летне-осенней межени малых рек Беларуси [4, 5, 6]. Теснота связи наблюдаемых и рассчитанных по предложенным методикам значений стока рек достаточно высокая, коэффициент корреляции связи -  $R=0,80...0,90$ .

Результаты комплексной оценки гидролого - климатических условий и пространственно-временного анализа статистической структуры полей тепловодобалансовых элементов дают возможность научно обосновать границы природоохранной (водоохранной) зоны и наиболее вероятную территорию, на которую, постоянно, и, особенно, в чрезвычайной ситуации будет влиять хозяйственная деятельность. Исходя из тенденции синхронных колебаний факторов, определяющих естественную увлажненность земель, и обнаруженных тесных связей почвенных влагозапасов и др. показателей со строительными свойствами почвогрунтов, нами установлены расчетные зависимости осадок оснований и фундаментов искусственных сооружений, в

том числе долю вклада в их суммарную величину не только гидролого-климатических, но и техногенных факторов.

#### Литература

1 СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик/ Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985. -36 с.

2 Мезенцев В.С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно - Сибирской равнины. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989 - 168с.

3 Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Динамика внутригодового хода теплоресурсов на территории Беларуси (на примере реальных лет).-Брест.: Брестский политехнический институт, 1994 - с. 92-94

4 Валуев В.Е., Волчек А.А., Лукша В.В., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Результаты исследования циклов колебаний годового стока рек Беларуси // Материалы научно - технической конференции, посвященной 30-летию института. Часть II.- Брест: политехнический институт, 1996.- 1с.

5 Лукша В.В., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Определение минимального стока летне-осенней межени при отсутствии данных гидрометрических наблюдений (для малых рек Беларуси) // Материалы научно-технической конференции молодых ученых и специалистов "Молодежь и научно-технический прогресс". - Брест.: Брестский политехнический институт, 1997 г. - 2с.

6 Валуев В.Е., Волчек А.А., Лукша В.В., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Определение максимального стока весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Вып.21. - Минск, 1997 г. - 11с.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

**А.А. Омелько**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ

Брест, Республика Беларусь

*В работе рассматривается методика установления оптимального водного режима на осушительно-увлажнительных системах на основе*

*единого критерия оптимальности, учитывающего максимальную экономическую эффективность функционирования системы.*

ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, ОПТИМАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ, ГРУНТОВЫЕ, ВОДЫ

Эффективное использование земельных, водных, климатических, материальных и трудовых ресурсов на мелиорированных землях требует управления всеми факторами Среды обитания растений [1,2]. Применительно к осушительно-увлажнительным системам, управление водно-воздушным режимом почв сводится к выбору оптимальных режимов регулирования уровней грунтовых вод (УГВ) в условиях поля регулирования и соответствующих им уровней воды в мелиоративной сети, с установлением расходов подачи (сброса) в зависимости от вида мелиоративного воздействия [3].

Оптимальным УГВ является такой, при котором на поле регулирования обеспечивается максимальный относительный прирост продуктивности в рассматриваемый момент времени. Оптимальный УГВ (H) определяется из условия

$$G_k = \max \left[ \sum \left( M_{ij} \int_0^{S_{ij}} m(H(S_{ij})) dS_{ij} \right) \right],$$

где  $m \leq 1$  - показатель уровня оптимальности водного режима, определяемый в зависимости от положения УГВ [3]; S - площадь поля регулирования;  $S_{ij}$  - площадь, занятая i-той культурой, при j-той почвенной разности;  $M_{ij} = Y_{ij}/Y_{11}$  - относительная продуктивность i-той культуры;  $Y_{ij}$  - продуктивность i-той культуры, при j-ой почвенной разности, при  $m=1$ ;  $Y_{11}$  - продуктивность наиболее урожайной культуры ( $i=1$ ) в условиях наибольшей бальности почвенной разности ( $j=1$ ), при  $m=1$

Оценка состояния водного режима на поле регулирования выполняется в следующем порядке. Для каждой культуры, на всех типах почв, рассчитываются значения  $H_{min}$  и  $H_{max}$ , определяющие диапазон оптимальных колебаний УГВ. На плановой основе поля, находится площадь  $S_{ij}$  под каждой культурой с учетом почвенных разностей. Всем площадям, по заданному положению (отметке) УГВ, присваивается значение показателя уровня оптимальности водного режима (m). Далее, определяется относительная продуктивность ( $M_{ij}$ ) и суммарный показатель оптимальности ( $G_k$ ) с после-

дующим установлением отметки УГВ, оптимальной для всего поля в расчетный период.

Изложенная методика позволяет отыскать наиболее безопасную "траекторию" изменения УГВ на поле регулирования в течение вегетационного периода. Она представляет собой режим изменения УГВ, при реализации которого получается минимальный ущерб от возможных экстремальных воздействий погоды. В числе исходных предпосылок определения данной "траектории" принимается та, что в условиях неустойчивого увлажнения территории существует одинаковая вероятность появления двух критических состояний погоды - засухи или затяжных дождей. Такой подход позволяет определить на прогнозируемый период, с учетом особенностей предшествующего, оптимальные диапазоны УГВ для сухой и дождливой погоды. Область пересечения этих диапазонов определяет наиболее безопасную зону изменения УГВ на поле регулирования. Медианная линия этой области является наиболее безопасной "траекторией" УГВ.

Следующий этап состоит в отыскании уровней воды в мелиоративной сети, обеспечивающих оптимальные УГВ на поле регулирования. Ввиду сложности этой задачи наиболее предпочтительным является моделирование процессов водообмена на поле, используя результаты активного эксперимента. Приближенная математическая модель связи расходов и уровней воды в мелиоративной сети с УГВ имеет вид

$$Q = \alpha(\Delta_k - \Delta_{\text{УГВ}}),$$

где  $Q$  - требуемая подача (сброс) воды;  $\alpha$  - коэффициент водообмена, определяемый экспериментально;  $\Delta_k$  - отметка уровня воды в мелиоративной сети;  $\Delta_{\text{УГВ}}$  - отметка уровня грунтовых вод.

По предложенной методике для поля регулирования возможно осуществить управление уровнем грунтовых вод по заранее разработанной программе на весь период вегетации. Данная методика позволяет использовать относительно простые алгоритмы управления уровнем грунтовых вод и приемлема для информационно-советующих систем оперативного управления водным режимом осушительно-увлажнительных систем.

#### Литература

1 Афанасик Г.И., Армоник О.Р., Пятницкий В.Н. и др. Принципы оптимизации управления водным режимом на осушительно-увлажнительных

системах// Управление водным режимом мелиорированных земель. - Мн., 1987.- с. 3-13.

2 Афанасик Г.И. и др. Комплексное регулирование условий жизни растений на торфяных почвах.- Мн.: Ураджай, 1980.

3 Афанасик Г.И., Омелько А.А., Жуков Л.Ф. Управление водным режимом на больших мелиоративных системах// Мелиорация и охрана окружающей среды.- Мн, 1989 - с.17-26.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АМОРТИЗОВАННЫХ ШИН В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**В.В. Жук**

Строительный факультет, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются перспективы использования изношенных шин при возведении гидротехнических сооружений, приведены конструктивные решения берегозащитных устройств, позволяющие уменьшить расход материалов, традиционно применяемых для их конструкций.*

**ОТХОДЫ, ПОТРЕБЛЕНИЕ, УТИЛИЗИРОВАННЫЕ, ПОКРЫШКИ, БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ, УСТРОЙСТВА**

Проблемы использования вторичных материальных ресурсов приобретают с каждым годом все большее экономическое значение, поскольку природные ресурсы становятся все более ограниченными и дорогостоящими. С другой стороны, в последнее время, наблюдается интенсивный рост объемов отходов потребления, в частности, непригодных для восстановления протектора автомобильных покрышек. Шины выходят из эксплуатации главным образом, вследствие износа, расслоения и разрыва деталей. Резина шин в процессе эксплуатации подвергается структурным изменениям, но физико-механические свойства полимерной основы изделий существенно не отличаются от первоначальных. Кроме резины, изношенные шины содержат текстильные и металлические армирующие материалы. Следовательно, изношенные шины являются ценным источником полимерного и другого сырья, потребляемого народным хозяйством.

В Беларуси и за рубежом накоплен определенный опыт по переработке и использованию утилизированных шин. Область применения продуктов

переработки шин весьма разнообразна. Они используются при изготовлении кровельных волнистых и плоских листов, плит для покрытий полей спортивных сооружений, полов животноводческих ферм, в качестве добавок, улучшающих свойства асфальтобетонной смеси, в качестве дисперсной арматуры при производстве тяжелых бетонов.

Следует отметить, что при переработке шин используются высокотемпературные процессы, требующие больших затрат энергоносителей, что делает утилизацию шин нерентабельной, особенно в последнее время, из-за высоких цен на топливо.

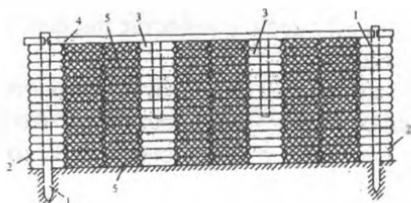
Другим способом полезного использования амортизованных шин является их применение в качестве строительного материала. Из утилизированных шин сооружают искусственные рифы для размножения рыбы, участки берега, размываемые водой, покрывают гибким ковром из покрышек, защищают дамбы и обваловывают пруды-отстойники промышленных предприятий. Это позволяет не только утилизировать изношенные шины, но и существенно снизить расход камня, щебня и бетона, традиционно применяемых для этих целей.

На кафедре строительных конструкций проведены исследования по использованию утилизированных шин для сооружений гидротехнического строительства.

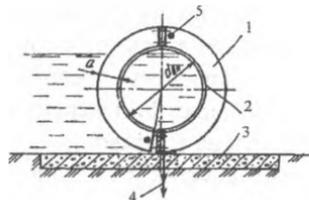
Разработано *устройство для защиты берега от размыва [1]* включающее установленные в ряд вдоль береговой линии сваи (1) с насаженными на них полами торообразными блоками (2) из утилизированных шин. В промежутках между сваями устанавливаются впритык друг к другу вертикальные штабели (3) покрышек. Сверху блоков укладывается пригрузочная П-образная балка (4). С помощью объемных связей (5) штабели фиксируются в одной плоскости с торообразными блоками насаженными на сваи (рисунком а). При необходимости берегозащитное сооружение может быть выполнено из нескольких рядов торообразных блоков. Пространство внутри блоков заполняется балластом. Вертикальная плоскость сооружения по всей длине поглощает продольные (вдоль берега) течения с повышенными скоростями и полностью исключает возникновение поперечных циркулирующих потоков с вихревыми явлениями.

При выполнении аварийно-восстановительных работ может найти применение *берегоукрепительное устройство [2]*, состоящее из пакетов (1), собранных из изношенных шин, и скрепленных между собой шарнирами

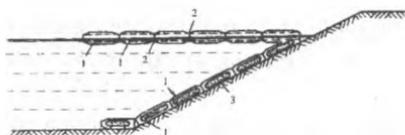
(2), расположенными диаметрально противоположно, попеременно в нижней и верхней частях пакета.



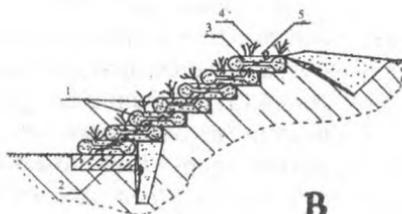
а



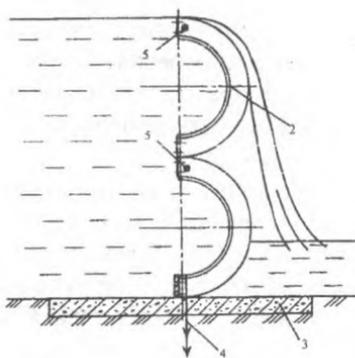
г



б



в



д

Рисунок Устройство для защиты берега от размыва (а), берегоукрепительное устройство (б), защитное покрытие грунтового сооружения (в), водоподпорная плотина (г,д).

Внутренняя полость каждой шины заполняется поропластом (3) с нанесенным слоем неводостойкого материала по его открытой поверхности (рисунок б). Под действием воды, происходит разрушение клеевого состава и по порам композиционного материала вода будет устремляться во внутреннюю полость шин. Вес воды суммируется с весом шин и лента погружается на защищаемый откос. Такое решение позволяет без применения подъемно-транспортных средств укладывать и корректировать местоположение лент по отношению к откосу. Более того, пакеты из изношенных шин можно использовать многократно - после восстановления защитного покрытия поропласта.

В ряде случаев, с целью повышения надежности работы в условиях сейсмических воздействий, необходимо крепление откосов из грунтового или шлакового материалов. *Защитное покрытие грунтового сооружения [3]* можно выполнить из утилизированных шин (1), установленных послонно и горизонтально на бетонную подушку (2), с образованием ступенчатой поверхности. Пустоты внутри шин и сквозные вертикальные каналы заполняются почвой (3) и засаживаются растениями (4). Для объединения шин в единый диск используются арматурные стержни из труб (5), одновременно выполняющих роль водопроводной сети для полива растений (рисунок в).

В качестве подпорных и регулируемых сооружений можно использовать *водоподпорную плотину [4]*, состоящую из опорной конструкции (1) в виде изношенных шин, мягкого водонепроницаемого материала (2), бетонного флютбета (3) и анкерных устройств (4) (рисунок г, д). Жесткие силовые пояса (5), проходящие через шины и закрепленные к береговым анкерным устройствам, позволяют не только фиксировать проектное положение сооружения, но и снизить нагрузку от воды на элементы плотины. С целью сокращения времени возведения сооружения и уменьшения трудозатрат, плотина может быть собрана из блоков заводского изготовления, состоящих из 5...8 изношенных шин. С помощью силовых поясов, высота плотины может изменяться в пределах от одного до двух диаметров шин.

Технико-экономические исследования разработанных конструкций показали выгоду их применения в гидротехническом строительстве. Достигается значительная экономия цемента и металла, а стоимость сооружений уменьшается в несколько раз.

### Литература

- 1 Устройство для предохранения берега от размыва. Пат. 2050430 РФ. МКИ Е 02 В 3/12.
- 2 Берегоукрепительное устройство. Пат. 2026453 РФ. МКИ Е 02 В 3/12.
- 3 Защитное покрытие откоса грунтового сооружения. Пат. 2050431 РФ. МКИ Е 02 В 3/12. Водоподпорная плотина. Пат. 2026458 РФ. МКИ Е 02 В 7/02.
- 4 Водоподпорная плотина. Пат. 2026458 РФ. МКИ Е 02 В 7/02.

## 2 ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ И ТЕПЛОТЕХНИКА

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ДИСКОВЫХ БИОФИЛЬТРОВ

В.Н. Яромский, В.Л. Ковальчук, В.В. Мороз

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь.

*Обсуждаются подходы в решении проблемы расчёта мощности приводных устройств погружных дисковых биофильтров, предложено новое видение этой проблемы, новые подходы и формулы для расчёта, которые более широко охватывают как гидродинамические показатели потока, так и чисто механические параметры, от которых зависит окончательная мощность приводного устройства.*

**ПОГРУЖНОЙ, ДИСКОВЫЙ, БИОФИЛЬТР, СТОЧНАЯ, ЖИДКОСТЬ, КРУТЯЩИЙ, МОМЕНТ, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ, СОПРОТИВЛЕНИЕ, ПРИВОДНОЕ, УСТРОЙСТВО, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ, МОЩНОСТЬ**

Дисковые биофильтры являются перспективным сооружением для биологической очистки сточных вод. Они с успехом используются во многих странах мира. Однако, при применении дисковых биофильтров возникают вопросы, связанные с проектированием приводных устройств, выбором типа и числа электродвигателей.

В институте гидромеханики АН Украины проведены экспериментально-теоретические исследования по энергопотреблению дисковых биофильтров и предложена методика их расчёта [1]. Однако, в этой методике не учитывается вид сточной жидкости. Установлено, что при очистке бытовых сточных вод образуется от 0,5 до 1,0 % осадка от суточной производительности, а при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий осадка образуется в 6-10 раз больше. Соответственно, и толщина биологической плёнки на дисках будет разной. А это существенно влияет на гидравлическое сопротивление.

В лаборатории "Технологии очистки природных и сточных вод" выполнены специальные исследования, целью которых явилось эксперименталь-

ное определение крутящего момента по гидравлическому сопротивлению погружных дисковых биофильтров при биологической очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий и его влияние на их энергопотребление.

При проведении экспериментов использовали установку с биофильтром-вытеснителем. Методика проводимого нами эксперимента состояла в следующем: на валу располагались перфорированные диски из пластика толщиной 1 мм, через биофильтр-вытеснитель пропускалась сточная жидкость, причём скорость протекания сточных вод со временем изменялась. При каждом изменении скорости движения сточной жидкости, нами с помощью измерительного прибора, определено то усилие, при котором вал с дисками приводился во вращательное движение. На основе полученных опытных данных построены графики, представленные на рисунках 1, 2.

Как видно из рисунков 1, 2, при увеличении скорости движения сточной жидкости увеличивается и значение крутящего момента. Это и очевидно, так как при различных скоростях движения сточных вод в биофильтре, сопротивление, которое оказывает вода на вращение дисков при их обтекании - неодинаково. При проведении эксперимента число Рейнольдса составляло 327...2290.

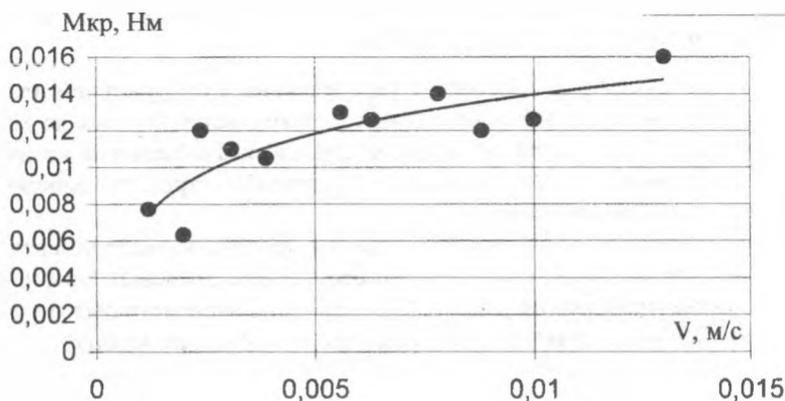


Рисунок 1 График зависимости крутящего момента от скорости движения сточной жидкости, при площади дисков  $0,81 \text{ м}^2$ .

О том, что скорость движения сточных вод необходимо учитывать, говорит тот факт, что диск (диски) необходимо рассматривать как местные

сопротивления на пути движения сточных вод [2,3]. Местные сопротивления (потери напора) выражаются как через скоростной напор, соответствующий скорости до препятствия в потоке, так и через скоростной напор, подсчитанный по скорости за этим препятствием. Обычно, в справочниках приводятся коэффициенты местных потерь, применительно к скоростному напору  $V_2/2g$ , - после препятствия. Но иногда коэффициенты местных сопротивлений даются для скоростного напора  $V_1/2g$ , где  $V_1$ - средняя скорость до препятствия.

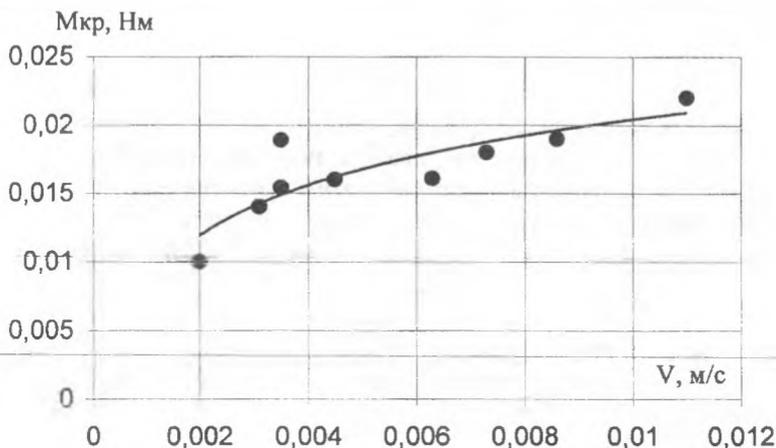


Рисунок 2 График зависимости крутящего момента от скорости движения сточной жидкости, при площади дисков 1,17 м<sup>2</sup>.

В ходе дальнейшего анализа и обработки полученных экспериментальным путём данных, нами предложена формула (1), для определения крутящего момента по гидравлическим сопротивлениям

$$M_{кр} = |0,0041 * \ln(V_{ж}) + 0,035| * \rho * V_R * D * 0,45 * F; \text{ Н*м,} \quad (1)$$

где  $V_{ж}$  - осреднённая скорость движения сточных вод, м/с;  $V_R$  - линейная скорость на ободе диска, м/с;  $\rho$  - массовая плотность жидкости ( $\rho \approx 1020 \text{ кг/м}^3$ );  $D$  - диаметр диска, м;  $F$  - общая площадь дисков с двух сторон, м<sup>2</sup>. Общая требуемая площадь дисков определится как

$$F = [(L_{ен} - L_{ex}) * Q] / OM, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где  $L_{\text{сн}}$  - исходное БПК<sub>5</sub> сточных вод, подаваемых на очистку, г/м<sup>3</sup>;  $L_{\text{ск}}$  - конечное БПК<sub>5</sub> сточных вод после очистки, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $OM$  - окислительная мощность, г/м<sup>2</sup>сут (окислительная мощность для различных категорий сточных вод определяется экспериментальным путём.  $OM \approx 50 \dots 250$  г/м<sup>2</sup>сут).

Осреднённая скорость

$$V_{\text{ж}} = Q/W, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где  $W$  - площадь живого сечения, м<sup>2</sup>.

Линейная скорость на ободе диска

$$V_R = (\pi * n * D) / 60, \text{ м/с}, \quad (4)$$

где  $n$  - частота вращения вала ротора, мин<sup>-1</sup>;

Ввиду того, что при вращении вала с дисками, энергия расходуется не только на преодоление сил гидравлического сопротивления, но и на механические потери, то имеется необходимость в их учёте. Формула для определения момента от сил трения в опорах подшипника имеет вид [1]

$$M_{\text{от}} = G_g * f * 0,5 * d * z, \text{ Н*м}, \quad (5)$$

где  $G_g$  - масса одного диска с биомассой, Н;  $f$  - коэффициент трения в опорных подшипниках;  $d$  - диаметр вала, м;  $z$  - число дисков на валу, шт.

Общая мощность на преодоление сил гидравлического и механического сопротивления определится как

$$N = (M_{\text{гп}} + M_{\text{от}}) * \omega, \text{ Вт}, \quad (6)$$

где  $\omega$  - угловая скорость вращения вала ротора, рад/сек, определяется как

$$\omega = (\pi * n) / 30, \text{ рад/сек}. \quad (7)$$

Окончательная формула для определения мощности приводного устройства имеет вид

$$N_{\text{общ}} = N / \eta * 10^3, \text{ кВт}, \quad (8)$$

где  $\eta$  - общий к.п.д. привода, составляющий

$$\eta = \eta_p * \eta_{\text{шт}} * \dots * \eta_m, \quad (9)$$

где  $\eta_p$  - к.п.д. редуктора;  $\eta_{\text{шт}}$  - к.п.д. цепной передачи;  $\eta_m$  - к.п.д. муфты.

Количество слагаемых в формуле (9) зависит от варианта компоновочной схемы погружного дискового биофильтра.

Предложенная формула (1), учитывает все виды гидравлического сопротивления: будь то сопротивление, которое оказывает жидкость на диски, при их вращении; либо сопротивление дисков жидкости при их обтекании, иными словами - охватывает весь спектр гидродинамических показателей потока жидкости. Она так же включает в себя основные технологические показатели. При подборе мощности приводного устройства по выше перечисленным формулам, нет необходимости производить проверку на пусковой режим, т.к. это учитывалось в процессе эксперимента.

### Литература

1 Чёрный И.М., Игнатенко А.В. Расчёт энергопотребления дисковых биофильтров. "Водоснабжение и санитарная техника" №2, 1990 г.

2 Кременецкий Н.Н. и др. Гидравлика. "Энергия", 1973 г.

3 Чёрный И.М., Тарасюк Т.П. Кинематика течения жидкости в биологическом реакторе с вращающейся загрузкой. "Гидравлика и гидротехника" №41 1985 г.

## О СОДЕРЖАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

В.Н. Яромский, Т.М. Лысенкова, С.В. Соколюк

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Освещается современное состояние проблемы содержания минеральных азотсодержащих соединений в подземных водах.*

СОДЕРЖАНИЕ, МИНЕРАЛЬНЫЕ, АЗОТИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ,  
ПОДЗЕМНЫЕ, ВОДЫ

Интенсивное применение азотных удобрений в сельском хозяйстве, развитие промышленности, городские агломерации обуславливают загрязнение подземных вод в региональном масштабе азотсодержащими соединениями. Наряду с наличием азотсодержащих веществ, вызванных антропогенной деятельностью, может наблюдаться и высокое фоновое содержание азота в воде.

Неорганические соединения азота в природных водах представлены, в частности, нитратными ионами  $\text{NO}_3^-$  и нитритными ионами  $\text{NO}_2^-$ . Соединения азота глубоких изменений в химическом составе воды не вызывают, поскольку являются подчиненными компонентами, но реакции их превращений оказывают влияние на гидрохимические процессы. Кроме того, некоторые формы азотсодержащих компонентов (в частности, нитраты) при благоприятной аэробной обстановке имеют тенденцию накапливаться в подземных водах. Это объясняется их высокой проникающей способностью при миграции для достижения подземных вод, так как они химически не активны и не адсорбируются на поверхности пласта.

Данные по возрастающему содержанию азота в грунтовых водах начали появляться на границе 60...70 годов, и на сегодняшний день по данному вопросу накоплена обширная информация и опыт исследования многих стран.

Исследования английских ученых показали, что для профиля зоны аэрации, простирающегося до глубины 35 м, характерны концентрации нитратов (по азоту) 15...50 мг/л в поровых водах. В юрских песчаниках в скважинах Центрального Линкольншира отмечены концентрации нитратов, достигающие 22,6 мг/л по азоту, в среднем 14–17 мг/л [1]. Во Франции за 1955...1975 годах в отдельных сельскохозяйственных районах загрязнение подземных вод нитратами возросло на 20 мг/л (по  $\text{NO}_3^-$ ), темпы увеличения составляют 1-3 мг/л в год. С 1981 года около 1 млн. человек во Франции получают воду с концентрацией 40...50 мг/л [1].

Приток азота в подземные воды, в ряде случаев, отмечается при наличии определенного состава пород, из которых выщелачиваются нитраты, что повышает концентрацию до 100 мг/л и более.

Фоновое содержание азота наблюдается в заболоченных местностях. Исследованиями, проводимыми НИИ МивХ в водосборе реки Западная Двина, установлено, что концентрация аммония, который в результате биологического процесса окисления нитрифицируется до нитратов и нитритов, на осушенных болотах изменяется от 0,21 до 2,99 мг/л, на освоенных участках – от 0,24 до 1,89 мг/л [2].

В результате исследований, выполненных в Белорусском институте геохимии и геофизики, выявлено содержание в атмосферных осадках азотсодержащих соединений: в среднем на территорию Беларуси с осадками выпадают 4,5...5,0 кг/га азота в год, в промышленных зонах, в зависимости от технологических процессов, в 2...5 раз больше, – что тоже является одним из источников загрязнения грунтовых вод азотистыми соединениями.

В результате побочного влияния минеральных удобрений в 1995 году на территории Республики Беларусь в водосборах рек зафиксированы максимальные концентрации азота нитратного до 0,685 мг/л [4].

Таким образом, в результате антропогенной деятельности человека в подземных водах многих регионов, в частности, в Беларуси, накопились значительные концентрации азотистых соединений. Это препятствует непосредственному использованию подземных источников для питьевого водоснабжения, так как одним из необходимых условий удовлетворительного качества питьевой воды является ограниченное содержание в ней азотсодержащих веществ.

По своему токсикологическому воздействию нитраты и нитриты должны рассматриваться вместе. Нитраты преобразуются в нитриты непосредственно в организме человека, и, именно, нитриты вызывают особую тревогу с точки зрения воздействия на здоровье человека [5].

Отравление нитратами характеризуется головной болью, головокружением, тошнотой, переходящим нарушением зрения, гиперемией лица, быстро сменяющимся цианозом; в тяжелых случаях могут быть судороги и летальный исход от острой сердечной недостаточности [6].

В 1997 году ВОЗ предложила формулу для расчета допустимого содержания азотсодержащих веществ в питьевой воде [7]:

$$\text{NO}_3 \leq 50 \text{ мг/л}; \text{NO}_2 \leq 3 \text{ мг/л} \text{ [(Конц.нитрата): } 50\text{]} + \text{[(Конц.нитрита): } 3\text{]} \leq 1.$$

ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая" регламентирует содержание нитратов не более 45 мг/л. ПДК по нитритам обычно считают не более 0,1 мг/л [8].

Для того, чтобы качество питьевой воды удовлетворяло нормативным требованиям, в ряде случаев, необходимо осуществлять специальную обработку природной воды. Методы очистки подземных вод от нитратов и нитритов можно разделить на физико-химические и биологические. В рамках этой классификации [9], далее анализируются различные методы очистки, каждый из которых имеет свою специфику, преимущества и недостатки.

Обратный осмос основан на использовании мембран с избирательной проницаемостью. Эффект удаления нитратов составляет 85...90%, при давлении, соответственно, 30 и 60 бар. Метод характеризуется высокой эффективностью, компактностью установки, но, при этом, имеет следующие недостатки: удаление из воды не только вредных, но и полезных для здоровья веществ; необходимость предварительной обработки воды с целью исключения засорения и обрастания мембран; наличие концентрированных стоков, требующих удаления или переработки. Внедрение этого метода на практике сдерживается отсутствием в республике селективных мембран.

Ионный обмен основан на использовании ионообменных смол. Его применение для некоторых водосточников требует предварительной обработки воды окислителями. Кроме того, нормируется содержание сульфат-ионов в исходной воде. При использовании ионного обмена, требует решения проблема утилизации образующихся отработанных регенерационных растворов и поиска материалов с высокой, по отношению к азотистым соединениям, обменной способностью.

Электродиализ может применяться для удаления нитратов и нитритов из воды х/п назначения (эффект удаления  $[NO_3^-]$  – 40...60%). Внедрение метода в промышленных масштабах сдерживают: недостаточно высокая селективность мембран; необходимость тщательной предварительной подготовки воды; наличие отходов в виде концентрированных растворов, требующих дополнительных затрат на их ликвидацию.

В качестве биологических методов очистки подземных вод от азотистых соединений известны: денитрификация азотистых соединений в присутствии водорода, серы, углеродсодержащих органических соединений.

Сущность метода денитрификации в присутствии водорода заключается в использовании автотрофных бактерий, при этом, выявлены следующие закономерности: рН воды возрастает по мере удаления нитратов; для полного перевода нитрат-иона в газообразный азот требуется длительный контакт воды и загрузки и предварительное насыщение воды водородом.

Процесс денитрификации азотистых соединений в присутствии серы протекает при использовании смешанной загрузки из серы и карбонатов, что позволяет значительно повысить эффект удаления нитратов. Однако, денитрификация сопровождается ухудшением (в результате побочных реакций) качества обрабатываемой воды, в силу чего методы денитрификации в присутствии водорода и серы пока не нашли широкого применения.

Денитрификация азотистых соединений с использованием углеродсодержащих органических соединений – это биологические процессы с участием гетеротрофных бактерий, преобразующих нитраты, нитриты в газообразный азот. Дальнейшая очистка воды выполняется путем аэрирования и фильтрования, в отдельных случаях – коагулирования, после чего эффект удаления нитратов достигает 70...80%. На заключительном этапе очистки, вода должна быть обеззаражена. Метод достаточно сложен в части эксплуатации и технологического контроля, однако, отличается тем, что не требует обезвреживания концентрированных стоков, наряду с низкой себестоимостью.

Таким образом, анализ литературных данных по геохимии минеральных азотсодержащих соединений показал, что подземные воды (особенно грунтовые) многих регионов, в том числе Белорусского, содержат нитраты и нитриты в концентрациях, препятствующих использованию вод для х/п водоснабжения. Особенную остроту проблема приобретает при водоснабжении населения сельской местности, где используются для водоснабжения шахтные колодцы. В настоящий момент реально реализованных промышленных методов очистки подземных вод от нитратов и нитритов нет. Разработанные на теоретическом уровне физико-химические и биологические методы, в силу перечисленных выше недостатков технологического и эксплуатационного характера, особенно в случаях, когда решается вопрос водоснабжения небольших автономных объектов, расположенных в сельской местности, не находят применения. В связи с этим, разработка и внедрение прогрессивной, современной с экологической точки зрения технологии очистки подземных вод от минеральных азотсодержащих соединений, представляет как научный, так и практический интерес.

#### Литература

- 1 Бриллинг И.А. Нитратное загрязнение подземных вод удобрениями. – М., 1985, 49 с.
- 2 Брезгунов В.С., Спартак В.Е. Азот в грунтовых водах мелиоративных почв Белорусского поозёрья. // Сборник науч. работ в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства. – Минск: 1986, с. 82-92
- 3 Лукашев К.И., Опошко М.П. Об особенностях распространения азота и его форм в природных водах Белоруссии. Доклады АН СССР, том XXXI. – 1985, с. 257-259.
- 4 Охрана природных ресурсов РБ. – Мн: 1995, с. 63, 90.
- 5 Международные стандарты. Нитраты/нитриты. – Вода, 1997, № 4 (12), с. 4.
- 6 Большая медицинская энциклопедия. Изд. третье, “Советская энциклопедия”, т. 18. – М., 1974, с. 21.
- 7 Нитраты и другие знаки беды – М.: Советская Россия, 1990, с. 7.
- 8 Врба Я., др. Содержание нитратов в подземных водах (опыт исследований с ЧССР)/Международный научный семинар. Ташкент, 1-5 окт., 1985 – М., 1987, с. 26-32.
- 9 Новиков В.К., Михайлов Э.М. Методы удаления нитратов и нитритов из природных вод: Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1988, с. 39.

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ФИЛЬТРОВ ВОДОЗАБОРА ЮЖНЫЙ Г. БРЕСТА

В.Н. Яромский, Б.Н. Житенев, Н.И. Комар

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В результате анализа гранулометрического состава загрузки фильтров разработаны мероприятия по интенсификации их работы.*

**ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ, ВОДА, ФИЛЬТР, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ, СОСТАВ, ЗАГРУЗКА**

Гранулометрический состав загрузки играет определяющую роль в работе фильтров. При несоответствии его требованиям [1], нарушается нормальная их работа, так при уменьшении зерен загрузки снижается грязеемкость фильтра, что приводит к более частым промывкам и неоправданно увеличенному расходу воды на собственные нужды. Вместе с тем, уменьшение зерен фильтрующего слоя не позволяет вести процесс промывки при расчетных интенсивностях, что сопровождается неполным восстановлением фильтрующей способности загрузки, возникновению кольматированных зон, уменьшает производительность фильтра и снижает продолжительность фильтроцикла. В процессе эксплуатации водозабора "Южный" возникли трудности, связанные с работой фильтров: не достигалась расчетная скорость фильтрования, во время фильтроцикла наблюдался быстрый рост потерь напора в загрузке, что требовало частых промывок. Для выявления причин неудовлетворительной работы фильтров был выполнен ситовой анализ загрузки. Данные ситового анализа загрузки фильтров водозабора "Южный" приведены в таблице 1.

Таблица 1 Результаты ситового анализа фильтрующей загрузки водозабора "Южный"

№ серий опытов	Калибр сита, мм	Осталось песка на сите		Прошло песка через сито	
		г.	%	г.	%
Серия №1	2,0	0,50	0,25	199,5	99,75
	1,0	46,20	23,12	153,3	76,65
	0,5	94,90	47,50	58,4	29,20
	0,25	47,00	23,52	11,4	5,60
	0,1	11,20	5,60	0,2	0,10

Продолжение таблицы 1

Серия №2	2,0	0,60	0,30	199,3	99,65
	1,0	46,10	23,06	153,2	76,60
	0,5	95,00	47,52	58,2	29,10
	0,25	47,20	23,61	11,0	5,50
	0,1	11,00	5,50	0,1	0,05
Серия №3	2,0	0,40	0,20	199,6	99,8
	1,0	46,30	23,17	153,3	76,65
	0,5	94,70	47,40	58,6	29,30
	0,25	46,90	23,47	11,7	5,85
	0,1	11,50	5,75	0,2	0,10

Таблица 2 Результаты обработки данных ситового анализа

Калибр сита, мм	Осталось песка на сите $P_i$ , г.	$P_{ср.}$ , г.	$\Delta P_i$ , г.	$S_p$	$\Delta$	$P=P_{ср.} \pm \Delta$ , г.
2,0	0,5	0,5	-	0,10	0,2	0,5±0,2
	0,6		0,1			
	0,4		-0,1			
1,0	46,10	46,20	-0,1	0,10	0,21	46,20±0,21
	46,20		-			
	46,30		0,1			
0,5	94,90	94,87	0,03	0,15	0,32	94,87±0,32
	95,00		0,13			
	94,70		0,17			
0,25	47,00	47,03	-0,03	0,15	0,32	47,03±0,32
	47,20		0,17			
	46,90		0,13			
0,1	11,20	11,23	-0,03	0,25	0,64	11,23±0,64
	11,00		-0,23			
	11,50		0,27			

По усредненным данным построен график ситового анализа загрузки (рисунок 1) и, в соответствии с [1, 2, 3], определены следующие показатели:

а) эквивалентный диаметр зерен

$$d_{э\text{кв}} = 100 / (\sum P_i / d_i),$$

где  $P_i$  - процентное содержание фракций со средним диаметром  $d_i$ ; откуда б)  $d_{э\text{кв}} = 100 / (5,6/0,175 + 23,52/0,375 + 47,50/0,75 + 23,12/1,5) = 0,58\text{мм}$ ;

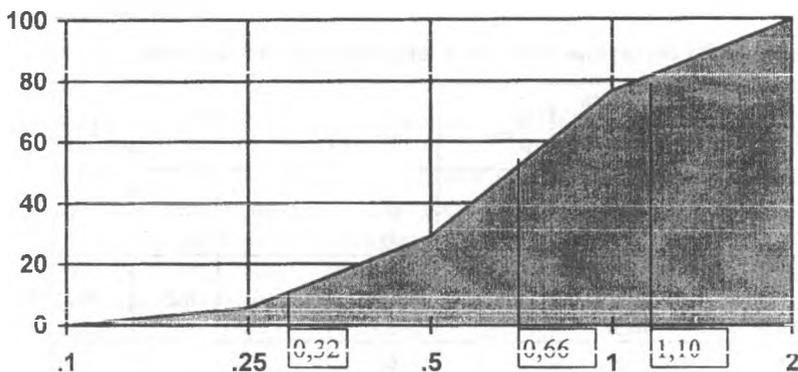
в) 10 - и 80% диаметры ( $d_{10}$ ,  $d_{80}$ ), фильтрующего материала, т.е. диаметры шара, равновеликие зернам фильтрующего материала, мельче которых в данном материале имеется 10 и 80% зерен по массе. В соответствии с рисунком 1, имеем

$$d_{10} = 0,32 \text{ мм}, d_{50} = 0,66 \text{ мм}, d_{80} = 1,10 \text{ мм}$$

г) коэффициент неоднородности загрузки К:

$$K = d_{80} / d_{10} = 1,10 / 0,32 = 3,44.$$

М, %



Калибр сита, мм.

Рисунок 1 График ситового анализа загрузки фильтров водозабора "Южный". М - масса песка прошедшего через сито, %.

В соответствии с рекомендациями [1], загрузка фильтров, обезжелезивающих воду методом упрощенной аэрации, должна соответствовать следующим требованиям: минимальный диаметр зерен - 0,8...1,0 мм, максимальный диаметр зерен - 1,8...2,0 мм, эквивалентный диаметр зерен - 0,9...1,3 мм, коэффициент неоднородности - 1,5...2,0 мм.

В результате проведенных исследований, установлено, что загрузка фильтров водозабора "Южный" характеризуется следующими показателями: минимальный диаметр зерен - 0,17 мм, максимальный диаметр зерен - 1,75 мм, эквивалентный диаметр зерен - 0,58 мм, коэффициент неоднородности - 3,44 мм.

При сопоставлении требований и фактических характеристик видно, что загрузка фильтров водозабора "Южный", по всем показателям, не соответствует предъявляемым требованиям. Она характеризуется высоким содержанием мелких фракций (эквивалентный диаметр 0,58 мм) и высокой неоднородностью (коэффициент неоднородности 3,44); при таких показателях не достигается расчетная интенсивность промывки из-за выноса мелких фракций загрузки с промывной водой, в результате, возможно неполное взрыхление нижних, более крупных по диаметрам зерен слоев, а это приводит к возникновению кольматированных зон, снижению площади фильтрования, уменьшению производительности фильтров. Вместе с тем, после промывки фильтров, в результате гидравлической сортировки, мелкие зерна загрузки осаждаются в верхней части фильтра, образуя мелкопористый слой, в котором происходит быстрое нарастание потерь напора из-за его малой грязеемкости, в результате, грязеемкость нижних слоев не используется. Такую работу фильтров нельзя считать удовлетворительной по следующим причинам: не достигается проектная производительность станции обезжелезивания; имеется перерасход промывной воды в результате частых промывок.

Учитывая вышеизложенное, возможны следующие варианты интенсификации работы фильтров водозабора "Южный":

#### **Вариант 1.**

Замена кварцевого песка гранитным щебнем крупностью 5...10 мм. При этом варианте потребуется реконструкция дренажной системы фильтров для обеспечения водовоздушной промывки фильтров. Реализация этого варианта позволит увеличить производительность водозабора, однако, требуются дополнительные капитальные затраты.

#### **Вариант 2.**

Произвести гидросортировку фильтрующего слоя, путем промывки, с интенсивностью 14 л/с м<sup>2</sup>, при этом, мелкие фракции будут вынесены с промывной водой. Затем, необходимо произвести дозагрузку фильтров кварцевым песком с гранулометрическим составом, соответствующим изложенным выше требованиям.

**Возможны другие варианты** интенсификации работы фильтров водозабора "Южный", но после проведения дополнительных исследований.

#### Литература

1 СНиП 2.04.02.- 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения./ Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985. - 136 с.: ил.

2 Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды: Справ. пособие. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. 120 с., ил.

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В РЕАКТОРЕ С ПОДЪЕМНОЙ СТРУЕЙ

В.Н. Яромский, В.В. Мороз, В.Л. Ковальчук

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Потребление воды непрерывно растёт и образующиеся, в результате этого, сточные воды могут отводиться в водоёмы или сбрасываться в канализацию лишь после надлежащей очистки; экономическое положение промышленных предприятий, дефицит строительных площадей и высокая арендная плата, за отводимые участки требует проектирования компактных установок по очистке сточных вод.*

БИОРЕАКТОР, СТОЧНЫЕ, ВОДЫ, АКТИВНЫЙ, ИЛ, ПОДЪЁМНАЯ, СТРУЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ, МОЩНОСТЬ, ХИМИЧЕСКОЕ, ПОТРЕБЛЕНИЕ, КИСЛОРОД

В основах водного законодательства уделяется большое внимание охране водных ресурсов. При этом, запрещено вводить в эксплуатацию новые и реконструированные предприятия, сооружения, цехи, агрегаты без систем, предотвращающих загрязнение, засорение или вредное воздействие вод [1].

Однако, кризисные явления в экономике, не позволяют некоторым предприятиям строить новые очистные сооружения или модернизировать существующие. Из-за чего, предприятия платят штрафы за отвод неочищенных сточных вод, превышающих ПДК сброса, в городскую канализацию и поверхностные водоисточники.

Одной из острых проблем в развитии производственно- хозяйственной деятельности предприятий является стремление их к сокращению затрат. Для того, чтобы решить задачу снижения затрат на предприятии и получить реальную экономию средств при производстве продукции, требуется производить эффективную очистку производственных сточных вод, для чего необходима разработка соответствующей технологии, позволяющей после проведения некоторых дополнительных стадий очистки воды отводить её в канализацию или водоём.

Для этих целей может быть использован разработанный на кафедре ТВК БПИ “БИО-РЕАКТОР”. Важной составной частью предлагаемой технологии является реактор с подъемной струей. Он реализует до сих пор неизвестную биологическую мощность на маленьком пространстве.

Реактор состоит из самостоятельного цилиндрического резервуара, на штоке горизонтально, на определенном расстоянии, расположены перфорированные диски. Каждый диск представляет собой полезную площадь с 10-ти миллиметровыми отверстиями. Пакет пластин движется поступательно с определённой частотой и шагом подъёма до 100 мм, образуя пульсирующее движение всей системы сточной жидкости, активного ила, кислорода. При этом, обеспечивается более тесный контакт ингредиентов, участвующих в процессе очистки. При подъёме, пакет дырчатого дискового сооружения, образует отверстие-соплю, что соответствует элементарной камере реактора. Объём реактора подъемной струи состоит из пространства реактора, в котором находится большое количество таких элементарных камер.

Предлагаемый метод очистки экспериментально реализован в лаборатории “Технологии очистки природных и сточных вод” БПИ, на сточных водах молочных предприятий (рисунок).

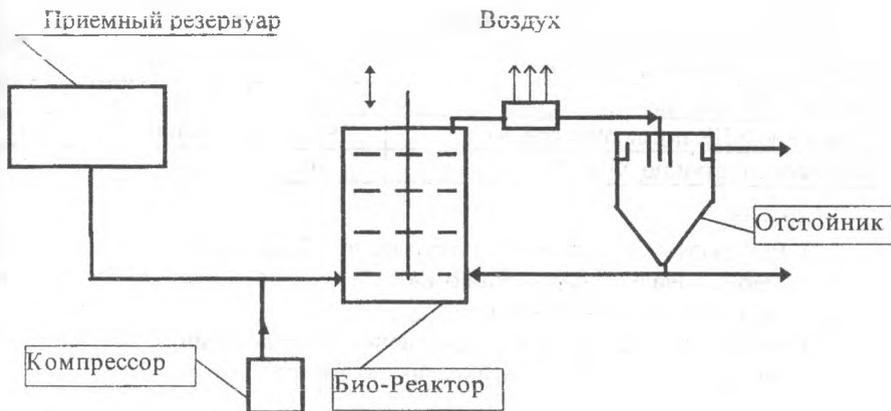


Рисунок Технологическая схема установки.

Представленная технологическая схема показывает, что в сооружении осуществляется обычный аэробный процесс живой системы ила, который,

по сравнению с другими до сих пор известными системами, например, аэротенком, обладает высокой биологической мощностью на маленьком пространстве.

Сточная вода из приёмного резервуара поступает в "БИО-РЕАКТОР". От компрессора подаётся сжатый воздух. Далее, вода, прошедшая через "БИО-РЕАКТОР", поступает в отстойник, при этом, вода и воздух разделяются в воздухоотделителе. После отстойника, осветлённая вода отводится в канализацию и лишь около 25% осадка - возвращается в систему.

Предварительно проведённый эксперимент по очистке сточных вод предприятий молочной промышленности дал следующий результат. Так как одним из основных показателей, характеризующих наличие органических загрязнений является ХПК, то в ходе эксперимента контролируемое значение ХПК уже за 30 минут пребывания воды в реакторе снизилось, по сравнению с начальным значением на 34,2%. При рециркуляции (реактор-отстойник-реактор), за три дня эффект очистки по ХПК составил 86%. Днём установка работала 6 часов, после чего, производилось определение ХПК (бихроматом калия): Температура сточной жидкости составляла 12 градусов, доза активного ила - 4 мг/л, расход сточных вод - 0,5 л/мин (см. таблицу).

Таблица Полученные опытные данные

Начальное значение ХПК, мг/л	31500	31500	31500
Время очистки, час	6	12	18
Значение ХПК после очистки, мг/л	19200	14400	4400
Эффект очистки по ХПК, %	39	54	86

Выводы:

- 1) Результаты эксперимента показали, что ХПК снизилась, по отношению к начальному значению на 86%, т.е. идёт процесс биохимической очистки сточных вод;
- 2) Необходимо дальнейшее проведение исследований, с целью разработки основных технологических параметров.

#### Литература

1 О. Л. Юшманов. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Москва. Агропромиздат 1985 г.

## ТЕРМОВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В.С. Северянин, Н.И. Комар, Э.Н. Комар

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Приведенная экспериментальная установка может использоваться для обработки осадков и суспензий, эффект достигается за счет сбережения энергоресурсов, в экологическом плане - при улучшенной обработке осадков и суспензий.*

ОБРАБОТКА, ОСАДКИ, СУСПЕНЗИИ, ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ, ГОРЕНИЕ, ВИБРОТЕРМООБРАБОТКА

В принятой Конференцией ООН "Повестке дня на XXI век" намечена стратегия мирового сообщества на будущее, предусматривающая гармоничное достижение основных целей - сохранения окружающей среды и здоровья, укрепление экономики для всех народов мира [1].

Экологический аспект устойчивого развития предполагает охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, сохранение биологического разнообразия, экологически безопасное применение высоких технологий, химических веществ, с учетом решения социально-экономических проблем.

Целесообразность утилизации осадков, в качестве удобрения, определяется комплексным содержанием в них биогенных элементов, о количестве которых дают представление данные, полученные на основании обобщения показателей станции аэрации и опубликованных в открытой печати материалов (таблица 1).

Таблица 1 Содержание основных питательных веществ в осадках сточных вод, % массы сухого вещества

Питательные вещества	Осадок сырой	Сброженный	Активный ил	Смесь осадка первичных отстойников и активного ила
Азот общий	1,6...6	1,7...7,5	2,4...10	2...8
Фосфор общий в пересчете на $P_2O_5$	0,6...5,2	0,9...6,6	2,3...8	1...7
Калий общий в пересчете на $K_2O$	0,1...0,0	0,2...0,5	0,3...0,4	0,2...0,5

Из данных таблицы 1 видно, что наиболее ценным органическим удобрением, особенно богатым азотом и фосфорным ангидридом, является активный ил, а также, что содержание удобрительных веществ в осадках колеблется в широких пределах. Это объясняется различием состава очищаемых сточных вод. Отношение углерода к азоту в среднем составляет 14...15.

Из [2] видно, что поступление на очистные станции разнообразных производственных стоков обуславливает присутствие в осадках ряда микроэлементов. Содержание микроэлементов (мг на 1 кг сухого вещества осадков) приведено ниже: бор - до 15, кобальт - 2...114, марганец - 60...715, медь - 55-3200, молибден - 0,5...11, цинк - 40...5000.

Исследования, проведенные под руководством акад. Я.В. Пейве, показали, что микроэлементы повышают скорость многих биохимических реакций, протекающих в растениях, а их недостаток - вызывает нарушение обмена веществ. Так, микроудобрения, содержащие медь, повышают урожайность зерновых культур на болотных и песчаных почвах. Марганец способствует повышению урожайности сахарной свеклы, кукурузы и других культур. Недостаток железа и цинка приводит к серьезным нарушениям жизнедеятельности растений, особенно это относится к плодовым растениям, винограду и хлопчатнику. Бор играет важную роль в повышении урожайности льна, сахарной свеклы, хлопчатника, кормовых бобов, гороха, клевера, люцерны, ряда овощных, плодовых и ягодных культур. Микроэлементы также способствуют усвоению растениями органических веществ из осадков.

К. Коннелл и М. Гарретт установили, что число спорообразующих бактерий в осадках снижается лишь в результате их термической сушки. В процессе термической сушки в 189 образцах число спорообразующих бактерий снизилось в среднем с 19,8 млн. до 14...240 тыс. в 1 г, т.е. на 99,9%. Термическая сушка обеспечивает наиболее устойчивую эффективность обеззараживания и обезвреживания осадков [3].

Исследования термически высушенного осадка станки аэрации города Орехово-Зуево показали полное отсутствие жизнеспособных яиц гельминтов. Кишечные палочки и сальмонеллы в пробах осадка также не обнаружены.

В опытах, выполненных В.И. Дмитриевой, термически высушенный осадок оказался эффективнее осадка с иловых площадок при использовании его не только под капусту, но также под яровую пшеницу, клевер и другие культуры. Опыты показали, что при осеннем внесении осадков в почвы урожай получается значительно выше, чем при весеннем.

С агрохимической точки зрения не возникало возражений против ис-

пользования хлорного железа в качестве реагента для коагуляции осадков перед их механическим обезвоживанием. При применении в качестве реагента сернокислого закисного железа, на его окисление расходуется некоторое количество кислорода из почвы. Использование в качестве реагента извести, кроме положительного влияния на развитие растений, способствует подщелачиванию почв, либо нейтрализации кислых почв, что, в свою очередь, повышает эффективность осадка, как удобрения [3].

Для выявления эффективности совместного внесения осадка и минеральных удобрений, был поставлен специальный опыт, который показал, что наибольшую эффективность дает применение осадков в сочетании с калийными удобрениями и комплексным азотно-фосфорно-калийным удобрением, что объясняется низким содержанием калия в осадках.

Опыты В.И. Дмитриевой и Ш.И. Джанелидзе, также показали, что наибольший прирост сельскохозяйственных культур наблюдался при использовании осадков в сочетании с калийными удобрениями [3], но при отсутствии ионов тяжелых металлов.

Такие осадки могут иметь место в коммунальном хозяйстве, где отсутствуют подключения к бытовой канализации промышленных предприятий, а также в осадках животноводческих ферм крупнорогатого скота (КРС) и свиноводческих комплексов (СТК). Осадки должны иметь влажность не более 70%. Обработка осадков проводилась в камерах пульсирующего горения КППГ [4] на экспериментальных установках диаметром диска 600 мм с толщиной 1,2 мм. От КППГ, по подводящей трубе, диаметром 89 мм, подводились горячие газы с температурой 100...180°C к центру диска, на диск подавался приготовленный модельный осадок. При рабочем режиме КППГ и установки, оказалось, что вибрационные колебания мембраны от центра к краям диска были затухающими, при таких колебаниях испарение влаги из осадка происходило медленно, и образовывался слой осадка на диске неравномерный по его периметру. За счет колебаний эффект сушки осадка находился в пределах 40%. Выявлено две причины малоэффективной работы данной установки. Первая - диск являлся частью установки, которая крепилась с помощью электросварных соединений герметически к корпусу, что не позволяло достигать определенной амплитуды колебаний. Вторая - не оптимальная толщина металла (1,2 мм) и диаметр диска (600 мм). При такой толщине и размере диска, при проведении экспериментальных работ не получено оптимальное колебание диска. Специально разработана экспериментальная установка с диском диаметром 800 мм и толщиной 0,8 мм.

При проектировании этой экспериментальной установки учтены сле-

дующие факторы:

- диск должен работать в режиме без отказа;
- диск должен быть выполнен из металлической жести толщиной 0,8 мм, что позволяет создавать определенную амплитуду колебаний в определенном диапазоне времени;
- по периметру диска на расстоянии 100 мм от периферийного контура необходимо устройство гофра в виде компенсатора;
- диск должен выполнять роль самостоятельного вибрационного элемента, независимо от работы экспериментальной установки;
- для обеспечения надежной сушки осадков и суспензий к центру диска подводятся источники тепла от КППГ.

Из [4] для данной экспериментальной установки можно применить правило Рэлея (совпадение положительных фаз давления и тепловыделения), в случае теплообмена, оно дополняется новым условием попадания максимума теплоотода в фазу давления, т.е. к центру диска в данной установке, что удобно реализуется теплотехнически в компактной установке с помощью применения металлического диска толщиной 0,8 мм и диаметром 800 мм. Принципиальная схема термовибрационной обработки осадков и суспензий показана на рисунке 1.

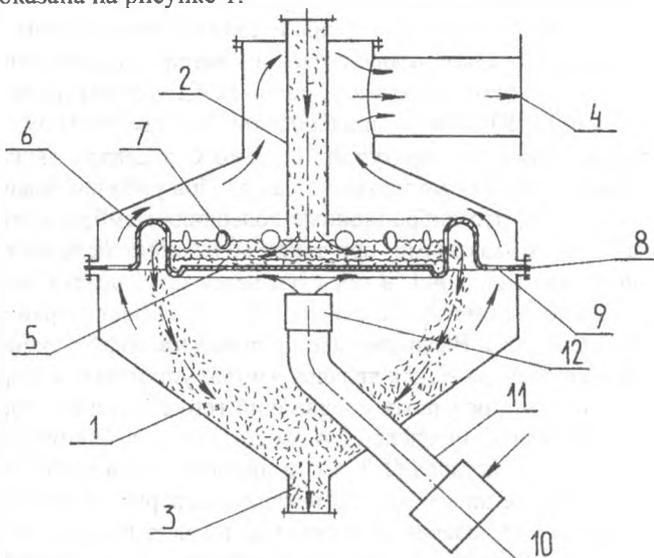


Рисунок 1 Термовибрационная обработка осадков и суспензий.

Экспериментальная установка включает следующие элементы: круглый вертикальный корпус - 1, подводящий патрубок для центрального ввода исходного осадка или суспензии - 2, патрубок для отвода обрабатываемого осадка или суспензии - 3, патрубок для отвода образующихся газов - 4, горизонтальный греющий вибрационный диск - 5, П-образный компенсатор - 6, компенсатор с отверстиями - 7, фланец - 8, отверстие во фланце - 9, аппарат пульсирующего горения - 10, резонансная труба - II, патрубок для центрального подвода теплоносителя к диску - 12.

В [4] приводится вывод, что часть энергии газов расходуется на сообщение потоку возвратно-поступательного движения; в нашем случае, при подведении теплоносителя к центру диска, мембрана выполняет вибрационно-колебательные движения. При таком колебательном процессе происходит, как видно из [4], относительное снижение энтальпии газа, и его можно описать зависимостью

$$\varepsilon = (E_{п} - E_{ст}) / E_{ст} = 1.5 (V_{в} / V_{ст})^2,$$

где  $E_{п,ст}$  - кинетическая энергия пульсирующего и стационарного потоков;  $V_{в,ст}$  - амплитудная и средняя скорость.

Для потоков из КПП,  $\varepsilon = 0,05 \dots 0,1$ , т.е. снижение температуры факела может быть порядка 5...10%, или 70...150°C, что наблюдалось при проведении эксперимента на мембране диаметром 800 мм и толщиной 0,8 мм.

При использовании КПП, по сравнению с традиционными стационарными котельными установками, имеется экономия теплоресурсов.

За счет малого коэффициента избытка воздуха  $\alpha = (1,01 \dots 1,05)$ , сниженного температурного режима работы компактной установки по обработке осадков и суспензий, малого пребывания во времени в топочном объеме выхлопных газов из КПП, существенно снижается  $NO_x$ , по сравнению с топочным устройством со стационарным горением. При проведении серии экспериментов на вышеуказанной установке величина  $NO_x$  колебалась от 15 до 40 кг/м<sup>3</sup>, при обработке модельного раствора, против 350...500 кг/м<sup>3</sup> на аналогичных традиционных котельных установках.

За счет пульсирующего горения, диск в компактной установке, производит колебательные движения, при этом, осадок нагревается, испарение влаги интенсивно уже при температуре 70°C, гибель яиц гельминтов до 95%, а при температуре 80°C - яйца гельминтов погибают полностью.

Литература

1 Жевлаков Э.Н. Экологические правонарушения и ответственность. М.: ЗАО «Бизнес-школа», Интел-синтез. 1997.-80 с.

2 Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь. - Минск, 1997.-217 с.

3 Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. - М.: Стройиздат, 1988.-256 с.

4 Северянин В.С. - Член-корреспондент БИА,  
Федоров В.Г. - академик БИА.

Пульсирующее горение - новая технология топливопользователя.// Известия Белорусской академии. №2, 1996, - Минск, 1996. Ст. [48-52].

**МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
С НОВОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ СЖИГАНИЯ**

**В.С. Северянин**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Предлагается научно - техническое решение обезвреживания и утилизации городских бытовых и промышленных отходов, основанное на использовании явления пульсирующего горения, характеризуются технологическая схема, особенности работы, программа сооружения объекта.*

ОГНЕВОЕ, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ, ГОРЕНИЕ, ДОЖИГАНИЕ, УНОС

Захоронение городского мусора и отходов на свалках (пусть это будут даже, так называемые, полигоны, можно их совершенствовать предварительной сортировкой, применением изоляционных мероприятий, уплотнением и т.д.) лишь временно смягчают всеобщую проблему охраны окружающей среды от антропогенного загрязнения. Поэтому, необходима разработка новых технологий обезвреживания и утилизации выбросов.

Известные мусоросжигательные заводы, для наших условий, являются слишком дорогостоящими, хотя огневой метод и считается самым эффективным средством переработки мусора. Лабораторией ПУЛЬСАР БПИ пре-

лагается новая технология переработки мусора. В существующих огневых технологиях выделяются две проблемы:

а) недостаточная интенсификация реагирования органической части отходов с воздухом, незавершенность химических реакций, техническая сложность организации процесса огневого обезвреживания;

б) при попытках интенсифицировать огневое воздействие возникает большой унос из реактора непрореагировавших веществ, которые далее трудно окислить из-за низких концентраций, снижения реакционной способности, забалластированности продуктами горения.

В предлагаемой технологии используется, так называемое пульсирующее горение, что позволяет резко интенсифицировать теплообмен во всех составляющих процессах. Поэтому, относительно простыми технологическими приемами можно усовершенствовать как механизм, так и термодинамическое течение технологического процесса.

Камеры пульсирующего горения (КПГ) - устройства, реализующие нестационарный режим окисления топлива, относительно просты по конструкции и в эксплуатации, несмотря на сложность происходящих в них явлений. Они легко komponуются с обслуживаемыми объектами, допускают широкий диапазон регулирования по тепловой мощности.

Основной элемент технологической линии - реактор (см. рисунок). Это емкость, куда подается поток обрабатываемых отходов. Реактор снабжен КПГ двух типов: гармоническими, излучающими в объем реактора синусоидальные колебания газа, и релаксационными, выдающими импульсные струи взрывного характера на обрабатываемую массу. Такое взаимодействие КПГ, во-первых, создает необходимый температурный уровень, и, во-вторых, производит перемешивание, встряску материала, что интенсифицирует процесс огневого обезвреживания.

После реактора, поток газов, вместе с взвешенными частицами, поступает в дожигатель - сепаратор и затем - в охладитель - улавливатель, в виде скруббера. Перед скруббером может быть установлен котел - утилизатор для охлаждения газов и для получения коммерческого тепла. Очищенный газ, после скруббера, подается в сепаратор - очиститель и, затем, дымососом удаляется в атмосферу.

Твердая фаза в виде суспензии из скруббера поступает в сепаратор - фильтр; вода возвращается в скруббер, а жидкая пастообразная масса, состоящая из выделенных частиц, специальным питателем подается в циклонную горелку с КПГ, смонтированную на реакторе. В этой горелке, органическая часть сгорает, унос снова идет в скруббер. Часть твердой фазы

циркулирует по этому контуру, часть - выводится из реактора, вместе с основной обезвреженной зольной массой, которую можно использовать, например, как строительный материал.

« ТЕХНОЛОГИЯ  
БРЕСТ »

Примечание: 1) Интенсифицированная печь-реактор  
2) Схема возврата улова  
3) Дожигание улова

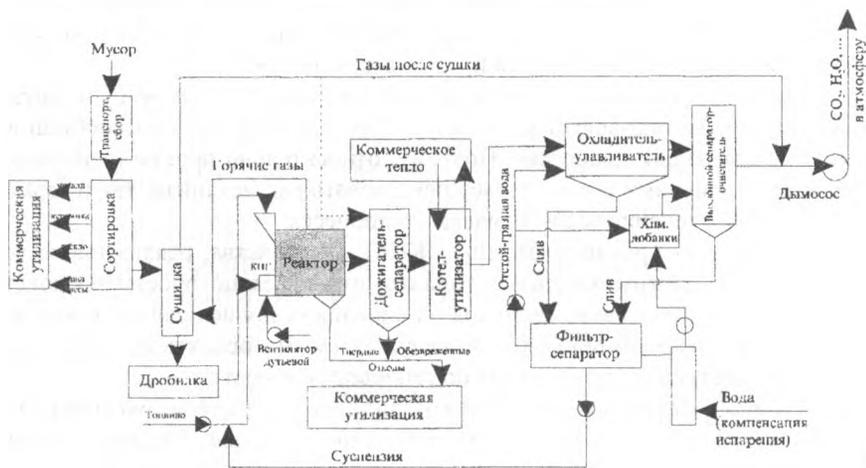


Рисунок Полная принципиальная технологическая схема обезвреживания мусора.

Для предотвращения выброса в атмосферу нежелательных соединений (кислоты, окислы), в выхлопной сепаратор - очиститель форсунками подаются соответствующие добавки.

Городской мусор, известными транспортными средствами, подается на приемную площадку. Сортировка происходит на специальном транспорте, вручную. Этот способ сортировки считается самым целесообразным (США, Австрия, Германия), т.к. использование роботов, автоматов, специальных механизмов пока не оправдано не только экономически, но и вообще, не достигается нужный результат. Среди специалистов принято считать, что при соблюдении санитарно - гигиенических, эргонометрических, социальных условий, можно достичь максимального эффекта на этой стадии переработки использованием ручной сортировки. Итогом сортировки должна

быть коммерческая реализация выделяемого продукта (металл, керамика, стекло, пластмассы).

Отходы, после сортировки, предназначенные для огневого воздействия, проходят через сушильное устройство, где происходит контактно - конвективный массообменный процесс между влажными компонентами и горячими газообразными продуктами сгорания, в определенной пропорции отобранными из реактора. Газы, после сушки, дымососом удаляются в атмосферу; при наличии пахнущих компонентов, этот газ может направляться в джигатель - сепаратор.

Подсушенный мусор проходит, при необходимости, через дробилку и, затем, высыпается в приемный бункер реактора.

В реактор подается воздух дутьевым вентилятором. Этот воздух необходим для горения органической части отходов и топлива в КПП. При помощи дутьевого вентилятора, на входе в реактор, и дымососа, после выхлопного сепаратора - очистителя во всем газовом тракте технологической линии, устанавливается уравновешенная тяга. Для компенсации испарившейся в системе воды производится ее подпитка.

Таким образом, материальный баланс технологии следующий: вход: мусор (отходы), топливо, воздух, вода, химреактивы (сода, доломит и т.п.); выход: газообразные продукты сгорания ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ...), твердые продукты огневого обезвреживания (зольные остатки).

Энергетический баланс: потребление - теплота сгорания топлива и мусора, энергопотребление механизмов и машин; выдача - коммерческое утилизируемое тепло, теплота уходящих газов в атмосферу, теплота горячих твердых продуктов.

В этих балансах имеются внутренние цепи рециркуляции веществ и энергии (суспензии уловленной мелочи, водяные пары по испарению и сушке, вода по скрубберу и фильтрам, подогрев при сушке и др.), которые должны учитываться при расчете оборудования.

Отдельные элементы предлагаемой технологии опробованы в виде лабораторных стендов и полупромышленных установок. Так, реактор в виде куба из огнеупорного кирпича общим размером 3х3х3 м сооружен и испытан в Пинском производственном объединении ЖКХ. При работе импульсных и гармонических КПП, выявлены особенности топочного процесса. Опробован питатель с бункером - важнейший узел технологической линии. Конструкция реактора подтвердила ее надежность при взрывном режиме

действия КПП. В настоящее время, ставится вопрос о продолжении работ по реконструкции и доводке реактора. Кроме того, испытана лабораторная горелка - топка в виде КПП, подсоединенной к циклону; в этом устройстве успешно сжигалась пылеугольная суспензия при подсветке жидким топливом. Другие аппараты и механизмы технологической линии (котел - утилизатор, скруббер, сепаратор, очиститель и т.д.) могут быть взяты типовыми или легко спроектированы заново.

Стоимость предлагаемого предприятия должна быть существенно ниже аналогичных мусоросжигательных заводов, благодаря использованию нового основного высокофорсированного огнетехнического оборудования, требующего меньше капитальных затрат и текущих расходов. Вместе с тем, особо надо подчеркнуть социальный эффект использования собственного научного потенциала области и республики. Возможен экспорт данной технологии, естественно, при соответствующей отработке.

Предполагается следующая программа создания данного мусороперерабатывающего предприятия: 1) Разработка эскизного проекта. Состав: чертежи основного и вспомогательного оборудования, помещений, схемы управления и автоматики, инструкции по эксплуатации, сметные калькуляции, патентное оформление. Сроки: 8...15 мес. 2) Экспертиза и уточнение проекта. Работа с посторонними организациями. Сроки: 6...8 мес. 3) Сооружение объекта - а) изготовление и приобретение, монтаж и доводка элементов технологической схемы, б) постройка здания и вспомогательных помещений, в) монтаж и доводка всей технологической линии и систем управления, г) пуско - наладочный этап, д) обустройство объекта. Сроки: 1...1,5 года, 12...18 месяцев.

Стоимость, сроки, источники финансирования, всевозможные согласования - предмет неизбежной административной работы, техническая идея и база которой представлены в настоящей публикации.

## **СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ**

**Н.С. Жигенева, Н.И. Комар, Б.Н. Житенев**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассмотрены вопросы загрязнения водоисточников Беларуси азотсодержащими соединениями.*

### **АЗОТ, АММОНИЙНЫЙ, НИТРИТНЫЙ, НИТРАТНЫЙ**

В последние десятилетия наблюдается увеличение содержания нитратов в питьевой воде. Кроме того, нитраты и нитриты используются для обработки и консервирования многих продуктов: колбасных, рыбных изделий, некоторых видов сыров. Нитраты, сами по себе, безвредны, однако, кишечные бактерии, активные в организме ребенка в возрасте до 7 лет, способны превращать нитраты в нитриты. Нитриты, поступая в кровь ребенка, превращают гемоглобин в метгемоглобин, который не является переносчиком кислорода, что вызывает метгемоглобинемию. Отдельные ученые полагают, что нитраты в организме человека могут превращаться в нитрозоамины  $R_2N_2O$ , которые способны вызывать онкологические заболевания. Большинство людей подвержено действию нитрозоаминов, поступающих в организм с загрязненным воздухом, сигаретным дымом. Полагают, что нитрозоамины могут быть причиной 70...90% случаев онкологических заболеваний, вызванных негативным воздействием окружающей Среды [1]. Содержание нитратов в питьевой воде лимитируется ГОСТ 2874-82 и не должно превышать 45 мг/л. Азотистые соединения поступают в водные источники в результате коммунально-бытового, сельскохозяйственного и производственного загрязнения.

Источником азотистых загрязнений являются сточные воды, прошедшие биологическую очистку без денитрификации. Азот содержится в них в виде нитратов, поступает в водоем, где под действием бактерий-денитрификаторов он восстанавливается до газообразного состояния. Однако, этот процесс протекает в тех случаях, когда скорость поступления азотистых соединений меньше скорости их денитрификации, в противном случае, происходит их накопление. Несколько иная картина наблюдается при сбросе в водоток неочищенных сточных вод, в этом случае, азот присутствует в виде

аммонийного азота, который окисляется нитрифицирующими бактериями до нитритов (бактерии *Nitrosomonas*), а затем - до нитратов (бактерии *Nitrobacter*), при этом, на окисление 1 мг аммиака расходуется около 4,3 мг кислорода, что может привести к его дефициту. Наряду с коммунально-бытовыми водами, значительное количество азотистых соединений поступает в открытые водоемы с поверхностным стоком, в результате смыва с полей минеральных удобрений. На рисунках 1, 2 представлены диаграммы, характеризующие степень загрязненности основных рек Беларуси азотом аммонийным и азотом нитритным за 1996 год (по данным [2]).

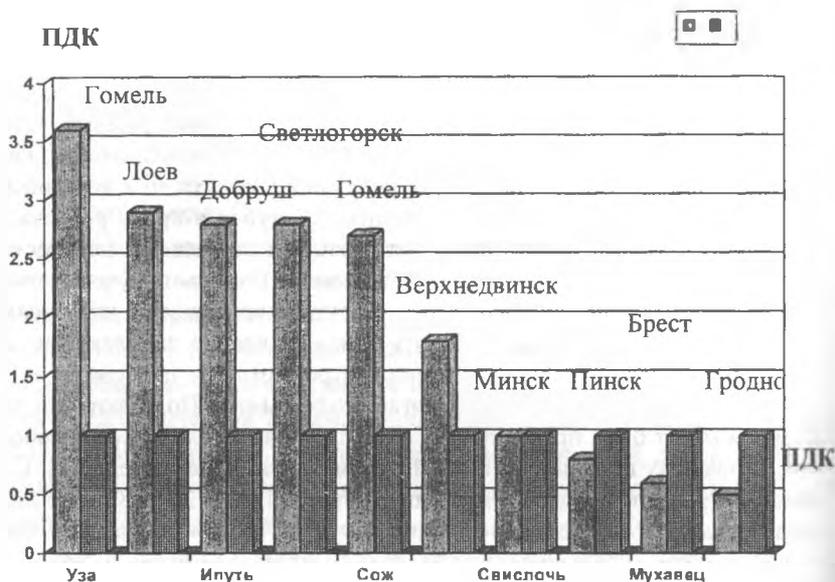


Рисунок 1 Ранжирование основных рек Беларуси по уровню загрязнения азотом аммонийным за 1996 год.

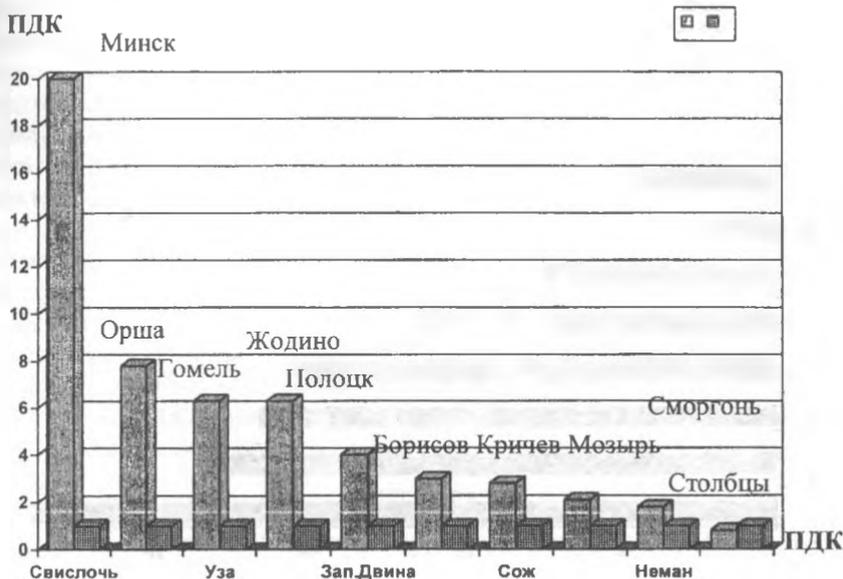


Рисунок 2 Ранжирование основных рек Беларуси по уровню загрязнения азотом нитритным за 1996 год.

В подземных водах также наблюдается увеличение концентрации азотсодержащих соединений. Особенно это прослеживается в сельской местности, где качество грунтовых вод формируется под влиянием сельскохозяйственного и коммунально-бытового загрязнений, источниками которых являются удобрения, выгребные ямы, скотные дворы, а также фермы и комплексы. Наиболее интенсивно загрязняется слой 10...12 метров, однако нитраты могут проникать и на большие глубины. Масштабы загрязнения грунтовых вод чрезвычайно велики (76 % всех обследованных колодцев содержат нитраты в количествах более ПДК) [3]. Около половины всех колодцев (41%) имеют загрязнения нитратами в количестве более трех ПДК (рисунок 3).

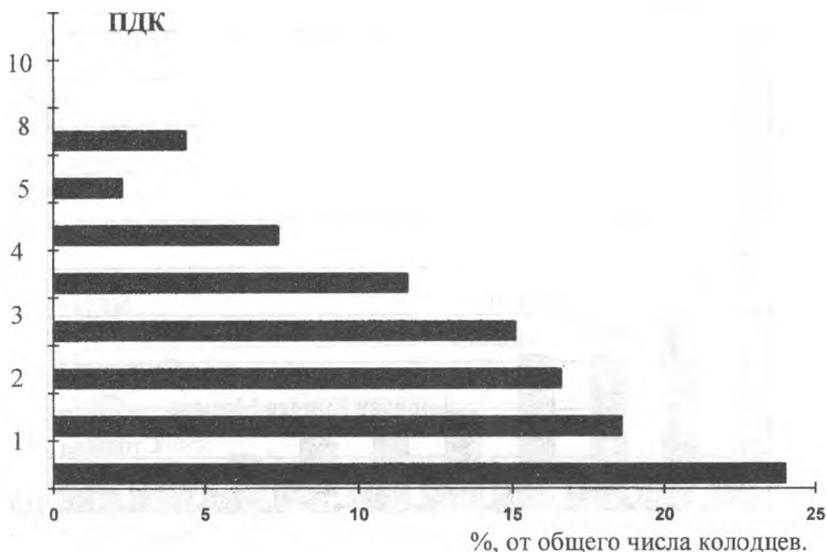


Рисунок 3 Распределение колодцев по уровню нитратного загрязнения воды относительно ПДК.

Поскольку, в сельской местности основными источниками водоснабжения в настоящее время являются шахтные колодцы, то становится очевидной необходимость принятия неотложных мер по решению вопросов обеспечения населения водой свободной от азотистых соединений. Для городского населения, которое снабжается водой из централизованных систем водоснабжения, для которых забор воды осуществляется из напорных глубокозалегающих горизонтов, достаточно защищенных от поверхностного стока, в настоящее время проблема наличия нитратов не стоит так остро. Для сельской местности, решение данного вопроса может быть достигнуто несколькими путями, отличающимися как стоимостью, так и эффективностью. Наиболее фундаментально эта проблема решается при строительстве в сельской местности централизованных систем водоснабжения, с забором воды из напорных водоносных горизонтов, с обязательным обезжелезиванием воды, чтобы достигнуть в водопроводе вкусовых качеств, соизмеримых с водой из колодца, что, вместе с разъяснительной работой среди насе-

ления, позволит избежать негативных последствий употребления некачественной воды. Однако, для строительства централизованных систем требуются значительные средства, которые в настоящее время отсутствуют. В некоторой степени, проблема может быть решена путем использования индивидуальных "семейных водоочистителей" типа "Изумруд", "Родник", "Роса", "Криничка" и др. Широкое использование их в сельской местности возможно лишь с проведением большой разъяснительной работы и созданием условий приемлемых для приобретения такого водоочистителя. Рассмотренные варианты решения проблемы очистки от нитратов питьевых вод затрагивают лишь пути борьбы со следствием (загрязнением воды), в широком смысле она (проблема) должна решаться путем с внедрением более совершенных методов очистки воды, развитием централизованных систем канализации в сельской местности с современными очистными сооружениями, использованием новых видов азотсодержащих удобрений, например, капсулированных, что препятствует вымыванию их из почвы.

#### Литература

1 Химия окружающей Среды.- Пер.с англ./Под.ред. А.П. Цыганкова . - М.: химия,1982.672 с.,ил.

2 Состояние природной Среды Беларуси за 1996 год: Сб.информ. материалов/ Под ред. В.Ф.Логинава. - Мн.: Изд. Н.А.Королев, 1997. - 256 с.: табл 62, рис. 65.

3 Кудельский А.В. ,Пашкевич В.И., Оношко М.П. и др. Широкомасштабное загрязнение источников водоснабжения в республике и неотложный комплекс директивных и экологических решений. Мн. ИГиГ АН БССР, 1988, 33 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЭРАТОРОВ С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ ЭЛАСТИЧНЫМИ МЕМБРАНАМИ**

**Б.Н. Житенев, Е.И. Дмухайло**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Исследована эффективность работы аэраторов с перфорированными эластичными мембранами путем определения коэффициента использования кислорода.*

## АЭРАЦИЯ, АЭРАТОР, КОЭФФИЦИЕНТ, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, КИСЛОРОД

Эффективность очистки сточных вод в аэрационных сооружениях зависит от структуры потоков, кинетики процесса окисления органических загрязнений и массопередачи кислорода воздуха в воду. Энергоемкость процесса определяется, в основном, последним фактором, поэтому, разработке новых высокоэффективных систем аэрации уделяется большое внимание. Аэраторы с перфорированной эластичной мембраной (ПЭМ), по сравнению с другими аналогичными диспергаторами, имеют ряд преимуществ: высокую коррозионную стойкость, модульный принцип сборки, минимальное воздействие микрофлоры на аэродинамические характеристики. Последнее, обусловлено тем, что при прекращении подачи воздуха, перфорация, благодаря эластичности мембраны, имеет свойство обратного клапана, препятствующего попаданию сточной жидкости в корпус аэратора, в результате, система воздухораспределения не заполняется жидкостью при остановке воздуходувок. Целью настоящего исследования являлось изучение эффективности работы аэраторов с перфорированными эластичными мембранами. Испытывался аэратор, выпускаемый фирмой "Ракада". В качестве критерия оценки эффективности, применен коэффициент использования кислорода. Материальный баланс (производительность по кислороду) можно представить уравнением

$$Q_{O_2} = W \cdot C_s \cdot (2.3 / \Delta t) \cdot \lg[(C_s - C_1) / (C_s - C_2)], \quad (1)$$

где  $Q_{O_2}$  - производительность по кислороду;  $W$  - объем реактора;  $C_s$  - концентрация насыщения кислорода;  $\Delta t = t_2 - t_1$ ;  $C_1, C_2$  - концентрация кислорода, соответственно, в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$

Опыты проводились на установке, приведенной на рисунке 1. Расход воздуха контролировался с помощью ротаметра, концентрация кислорода фиксировалась кислородомером, давление в аэраторе - замерялось при помощи пьезометра. Коэффициент использования кислорода

$$K_{исп} = Q_{O_2} / Q_{введ.},$$

где  $Q_{введ.}$  - количество введенного в реактор кислорода.

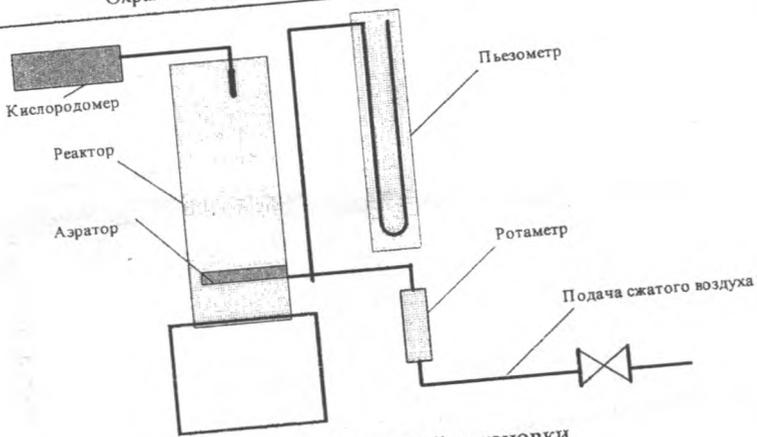


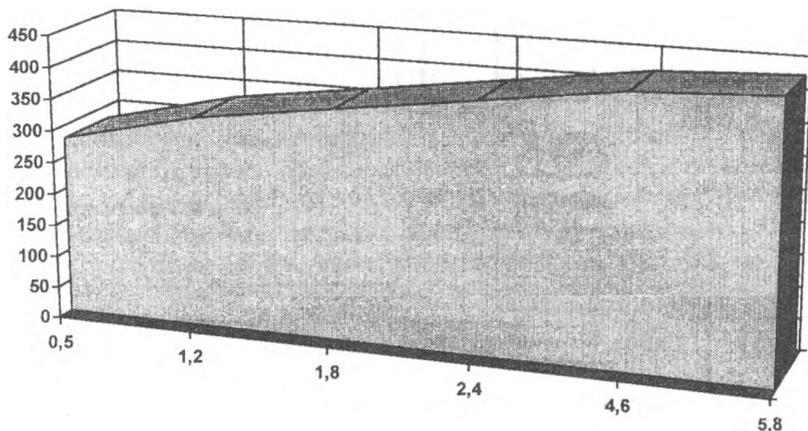
Рисунок 1 Схема экспериментальной установки.

Коэффициент использования кислорода, %



Рисунок 2 Влияние расхода воздуха на коэффициент использования кислорода (глубина погружения аэратора - 1,35 м.).

Потери напора,  
мм.вод.ст.



Расход воздуха (норм. условия), м<sup>3</sup>/ч

Рисунок 3 Зависимость потерь напора в аэраторе от расхода диспергируемого воздуха.

По усредненным данным построены зависимости коэффициента использования кислорода и потерь напора от производительности аэратора (рисунки 2, 3).

Исследования показали, что аэраторы с ПЭМ позволяют получить мелкопузырчатый режим аэрации с коэффициентом использования кислорода, зависящим от производительности аэратора и составляющим 12...19 %, при глубине погружения -  $h = 1,35$  м. Аэраторы с ПЭМ имеют сопротивление от 300 до 450 мм. вод. столба.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Л.Л. Пойта

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Освещаются вопросы водных ресурсов Беларуси, их использования и загрязнения сбрасываемыми сточными водами.*

**ВОДНЫЕ, РЕСУРСЫ, ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Беларусь, по своим природным условиям, относится к средней по водообеспеченности территории. Водные ресурсы слагаются из поверхностных: реки, озера, водохранилища, пруды, общий среднемноголетний сток которых составляет 57,1 куб. км; и из подземных вод, эксплуатационные запасы которых оцениваются в 18,1 куб.км в год.

В Беларуси насчитывается 20800 рек, общей протяженностью 90,6 тыс.км. Из них, 7 крупных рек, длиной более 500 км каждая. Общее количество озер достигает 10770. Суммарная площадь водного зеркала 2258 кв.км и полный объем – 6 куб.км. Количество водохранилищ - 91, прудов - 1138. Суммарная площадь водного зеркала 863 кв.км., суммарный полезный объем воды 1,23 куб.км[1].

На одного жителя в год приходится 4 тыс.куб.м воды, которая формируется в пределах республики. Удельная водообеспеченность составляет в среднем для республики - 175 тыс.куб.м на 1 кв.км. При этом она снижается до 130 на юге и увеличивается до 200 тыс.куб.м - на севере.

Безвозвратное водопотребление и потери воды при регулировании речного стока находятся в пределах 0,7...1,1 куб.км, а с учетом потерь на почвенное увлажнение и шлюзование осушенных земель - 1,5...1,9 куб.км, что составляет 5% от суммарного речного стока 95%-ой обеспеченности или менее 8% от водных ресурсов, формирующихся на территории республики. Минимальный необходимый сток, который должен оставаться в руслах рек для обеспечения приемлемых экологических условий и сохранения водных объектов на выходе за пределы республики, по исследованиям В.В. Фащевского, оценивается в 8,6 куб.км в средний по водности год и 5 куб.км - в год 95%-ой обеспеченности. Отношение максимального безвозвратного водопотребления и потерь воды к речному стоку 95%-ой обеспеченности выражает собой степень использования водных ресурсов. Как видно, фактическая степень использования водных ресурсов республики невелика. В связи со спадом производства в 1995 году, суммарный забор воды из поверхностных и подземных источников составил 2,1 куб.км, а безвозвратное

водопотребление - 0,6 куб.км. Всего, в 1995 году, использовано 1856 млн.куб.м свежей воды, в т.ч.: на хозяйственные нужды - 679, на производственные нужды- 574 (из них 6 млн.куб.м воды питьевого качества), в рыбном хозяйстве - 317, на с/х водоснабжение - 271, на орошение - 15 млн.куб.м. По сравнению с 1994 годом забор воды из водных объектов уменьшился на 427 млн.куб.м, т.е. на 17% [2].

Экономия воды, вследствие внедрения в промышленности систем оборотного и повторно- использованного водоснабжения, в целом по республике, остается на одном и том же уровне (92...93%), хотя общий объем воды в этих системах снизился в 1995 году с 7335 до 7136 млн.куб.м, что составляет 79% от полного водопотребления. Данные о заборе, использовании и сбросе сточных вод по бассейнам рек приведены в таблице 1.

Таблица 1 Забор и использование воды, сброс сточных вод по бассейнам рек за 1995 год

Бассейн реки	За- брано	Использовано из природных источников					
		всего, млн куб.м	в том числе: на нужды				
			х/п	производ- ственные	ороше- ния	с/х водо- снаб- жения	рыбного хозяй- ства
1	2	3	4	5	6	7	8
Бассейн Чер- ного моря							
1. Днепр	1651	1167	412	314	12	160	269
1.1. Припять	743	427	69	52	4,1	67	547
1.2. Березина	531	424	232	175	6,7	31	57
1.3. Свислочь	311	216	168	49	4,3	9	56
1.4. Сож	159	130	61	33	2,0	44	-
Бассейн Бал- тийского моря							
2. Неман	507	357	171	103	1,8	66	15
2.1. Виляя (включая озеро Нарочь)	267	136	88	38	0,7	13	13
2.2. Западная Двина	292	250	53	143	0,2	30	24
2.3. Западный Буг (включая Нарев)	89	82	43	14	1,1	15	9
2.4. Мухавец	35	31	9	9	0,3	7	6
ВСЕГО:	2539	1856	679	574	15	271	317

Продолжение таблицы 1

Использовано сточной воды	Сброшено сточных вод			
	Всего: млн. куб. м	из них:		
		загрязнен- ных	норма- тивно	нормативно- очищенных
9	10	11	12	13
17	949	57	308	584
1	291	5	218	68
16	471	38	80	353
3	303	34	14	255
0	67	2	4	61
5	145	4	19	122
5	28	2	8	18
0	190	3	89	98
0	45	0	8	37
0	12	0	6	6
23	1329	64	424	841

Потери при транспортировке воды составляют 113 млн.куб.м, т.е. 5,4% от объема водозабора. Годовой объем водоотведения в 1995 году составил 1461 млн.куб.м, что меньше на 410 млн.куб.м, по сравнению с 1994 годом. Без очистки, т.е. загрязненных сточных вод, в водные объекты сброшено 64 млн. куб. метров.

Наибольшее количество загрязненных сточных вод сбрасывается в бассейнах Березины и Свислочи, а нормативно очищенных - в бассейнах Немана и Западной Двины. Суммарная мощность очистных сооружений канализации выше фактического объема очищенных сточных вод. На очистных сооружениях 37 крупных городов республики очищается 89% от общего объема сточных вод. Наибольшее количество стоков направляется на сооружения биологической очистки. Однако, не все города имеют очистные сооружения требуемой мощности. По основным ингредиентам сброс загрязняющих веществ в последние годы стабилизировался и даже имеет некоторую тенденцию к снижению. В водные объекты в 1995 году в составе сточных вод сброшено [2]: 19 тысяч тонн хлоридов, 46 тысяч тонн сульфатов, 16 тысяч тонн органических веществ, 330 тонн нефтепродуктов, 310 тонн железа, 35 тонн меди, 42 тонны цинка и значительное количество других загрязняющих веществ, что отрицательно сказывается на экологической обстановке водных объектов. Наибольшее количество загрязнений сбрасывается предприятиями Минской области, Гомельской. Лимитирующим показателем загрязнений являются: медь – в Минске, Могилеве, Витебске, Гомеле, Речице; азот аммонийный – в Гродно, Рогачеве, Лиде; неф-

тепродукты – в Бресте, Новополоцке, Жлобине; хром, БПК, фосфор – в остальных городах. В результате такого загрязнения происходит ухудшение качества источников водоснабжения. Ухудшение качества воды представляет серьёзную опасность для здоровья населения.

Проведенные санэпидемслужбой обследования показали, что наблюдается достаточно высокая степень загрязнения вод колодцев: свыше 36% – по микробиологическим и около 50% по санитарно-химическим показателям. Концентрация нитратов в питьевой воде сельских населенных пунктов в 65% случаев не соответствует гигиеническим нормативам.

#### Литература

1 Водные ресурсы Белоруссии и их охрана.– под редакцией В.М. Широкова, Минск. БГУ, 1982.

2 Государственный водный кадастр. Минск, 1996.

### К РАСЧЕТУ ПОГРУЖНЫХ ДИСКОВЫХ БИОФИЛЬТРОВ

**В.Н. Яромский, Т.М. Лысенкова, Г.А. Волкова**

Факультет водоснабжения и канализации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*На основании исследований, установлены технологические параметры процесса биологической очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий на дисковых биофильтрах: окислительная мощность, продолжительность обработки на каждой ступени, максимальная допустимая органическая нагрузка.*

**ДИСКОВЫЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ФИЛЬТРЫ, ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ, МОЩНОСТЬ, ОРГАНИЧЕСКАЯ, НАГРУЗКА, СКОРОСТЬ, БИОХИМИЧЕСКОЕ, ОКИСЛЕНИЕ**

Использование метода биологической очистки сточных вод на дисковых биофильтрах обусловлено их высокой эффективностью (возможностью очищать сточную воду с повышенными скоростями биохимического окисления, полным удовлетворением потребности биопленки в органических веществах и кислороде, необходимым временем контакта). Этот метод применяется при очистке сточных вод с высоким содержанием органических соединений, в частности, на молокоперерабатывающих предприятиях.

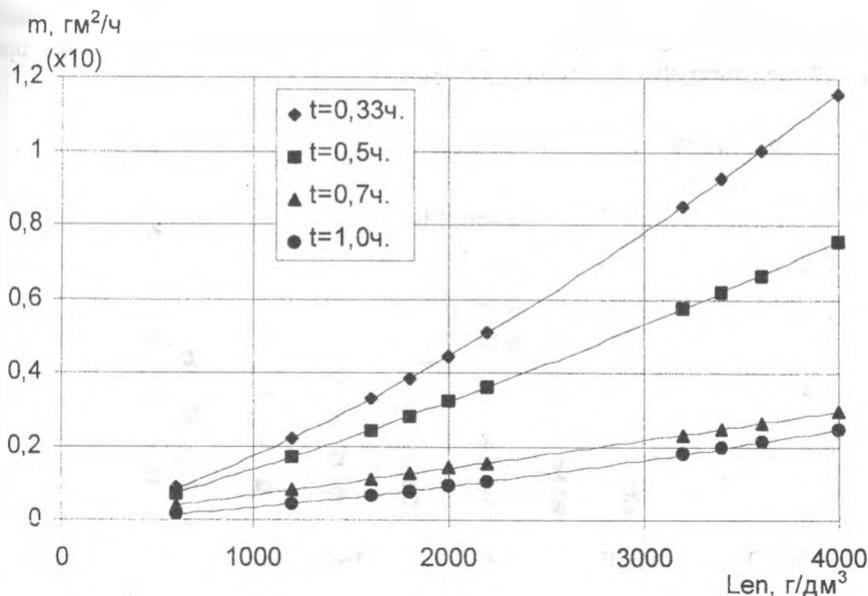


Рисунок 1 Зависимость скорости окисления от исходной концентрации загрязнений ( $Len$ ), при различных  $t$  (на первой ступени биофильтра).

В зависимости от нагрузки по БПК полн. или БПК<sub>5</sub> на  $1\text{ м}^2$  площади поверхности дисков, гидравлической нагрузки на биофильтр, концентрации БПК в поступающей сточной воде, требуемого эффекта очистки сточных вод определяется общая площадь поверхности дисков, затем, назначаются конструктивные размеры погружных биофильтров, т.е. диаметр дисков, расстояние между ними, число дисков на одном валу, протяженность секции, после чего, в зависимости от необходимой степени очистки, определяется число ступеней дисковых биофильтров.

По результатам проведенного эксперимента получены зависимости скорости окисления от исходной концентрации органических загрязнений, при различной продолжительности протока сточных вод через биологический фильтр, на первой и второй ступенях (рисунки 1, 2).

Для первой ступени :  $m=0,0000127 * Len^{1,377}$  при  $t = 0,33$  часа,  $m=0,0000259 * Len^{1,24}$  при  $t = 0,5$  часа,  $m=0,0000402 * Len^{1,073}$  при  $t = 0,7$  часа,  $m=0,0000016 * Len^{1,44}$  при  $t = 1,0$  час.

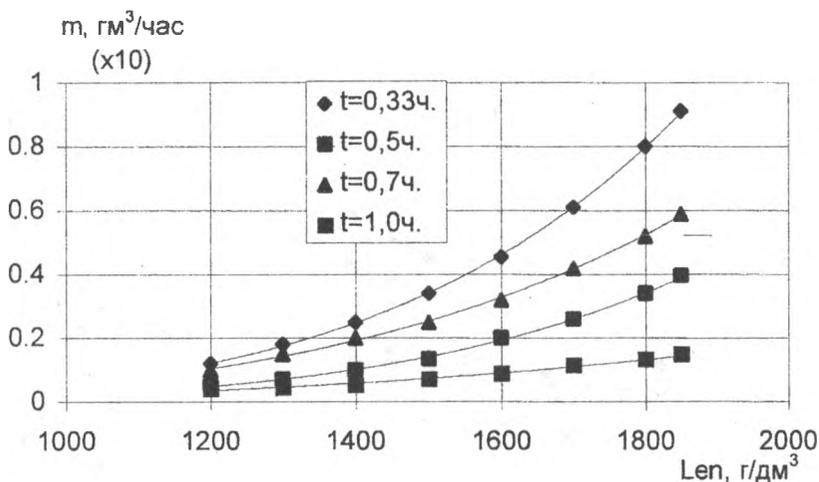


Рисунок 2 Зависимость скорости окисления от исходной концентрации загрязнений ( $Len$ ), при различных  $t$  (на второй ступени биофильтра).

Для второй ступени:  $m = \text{EXP}(-1,2766 + Len * 2,30416E-4)$  при  $t = 0,33$  часа,  $m = \text{EXP}(-1,3003 + Len * 1,87454E-4)$  при  $t = 0,5$  часа,  $m = \text{EXP}(-2,1719 + Len * 2,75376E-4)$  при  $t = 0,7$  часа,  $m = \text{EXP}(-2,3902 + Len * 2,18320E-4)$  при  $t = 1$  час.

Лабораторные исследования на модельном стоке и полупромышленные испытания на реальной сточной воде позволили определить следующие технологические параметры процесса очистки на двухступенчатых биофильтрах: окислительная мощность –  $200 \text{ г БПК}_5/\text{м}^2/\text{сут}$ , продолжительность обработки на каждой ступени –  $30$  минут, максимально допустимая органическая нагрузка –  $1500 \text{ г БПК}_5/\text{м}^2/\text{сут}$ , при диаметре дисков  $180 \text{ мм}$ .

## **3 ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### **БАЗОВЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

**Н.П. Яловая, П.П. Строкач, Ю.В. Епифанов**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В работе приводится краткое описание основных физико-химических методов очистки воды, позволяющих очищать нефтесодержащие сточные воды нефтеперерабатывающих заводов и автотранспортных предприятий до нормативов качества воды, допускающих ее повторное использование в системах оборотного водоснабжения указанных предприятий.*

**НЕФТЕСОДЕРЖАЩИЕ, СТОЧНЫЕ, ВОДА, СИСТЕМА, ОБОРОТНОЕ, ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ОЧИСТКА**

Нефтесодержащие сточные воды образуются в ряде отраслей промышленности: на машиностроительных и нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), автотранспортных предприятиях (АТП), нефтебазах и некоторых других объектах. Наиболее водоемкими, среди перечисленных предприятий, являются нефтеперерабатывающие заводы. На них образуется значительное количество высококонцентрированных сточных вод - основного источника загрязнения водного бассейна сырой нефтью и продуктами ее переработки.

Вследствие множества автотранспортных предприятий (в частности, в Брестской области), даже при выделении небольшого объема сточных вод в процессе эксплуатации легковых, грузовых автомобилей и автобусов), они также являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды нефтепродуктами.

Таким образом, в настоящее время, особую значимость приобретают задачи создания оборотных систем водоснабжения предприятий, позволяющих существенно сократить потребление свежей воды, а также значительно снизить загрязнение водного бассейна нефтепродуктами.

Как свежая, так и повторно используемая в оборотной системе вода, перед ее использованием для технологических нужд НПЗ должна подвергаться физико-химической очистке с целью достижения следующих основных нормативов качества воды: взвешенные вещества -  $25 \text{ г/м}^3$ , нефтепродукты -  $25 \text{ г/м}^3$ , pH -  $7...8,5$  [1].

На АТП вода используется, в основном, для наружной мойки автомобилей и на охлаждение компрессоров и другого технологического оборудования. Вода, применяемая для охлаждения оборудования, должна иметь следующие показатели качества: температуру не более  $30^{\circ}\text{C}$ ; концентрацию взвешенных веществ до  $30 \text{ г/м}^3$ ; содержание масел до  $20 \text{ г/м}^3$  [1]. Нормативные требования к качеству воды, используемой для мойки машин следующие: взвешенные вещества -  $40...70 \text{ г/м}^3$ , нефтепродукты -  $15...20 \text{ г/м}^3$ , pH -  $7,2...8,5$  [1].

Для кондиционирования нефтесодержащих сточных вод до норм, позволяющих использовать их в оборотном водоснабжении предприятий, могут быть использованы различные современные методы водоподготовки, систематизированные в таблице.

Таблица Эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод различными методами

Базовый метод очистки	Краткое описание технологических стадий процесса очистки воды	Остаточная концентрация нефтепродуктов, $\text{г/м}^3$	Ссылка на литер. источник
1	2	3	4
Флотационный	Введение раствора сульфата алюминия в сочетании с флокулянтom (ПАА $5 \text{ г/м}^3$ ); воздушная флотация	до 14	2
--/	Гравитационное отстаивание; тонкослойное реагентное отстаивание; напорная флотация; фильтрование через фильтры с плавающей загрузкой	до 2	3
--/	Добавление солей алюминия; напорная воздушная флотация	до 5	4
--/	Добавление катионных флокулянтов при дозе $3,5...10 \text{ г/м}^3$ ; воздушная флотация	Нет данных	5

Продолжение таблицы

1	2	3	4
--/	Напорная флотация с использованием CO <sub>2</sub> и сорбция на фильтре с пенополиуретановой загрузкой	до 5-10	6
Коагуляционный	Введение коагулянта и флокулянта с последующим отстаиванием	до 1...2	7
--/	Добавление в воду коагулянта и органического флокулянта с последующим отстаиванием	до 0,5	8,18
--/	Введение коагулянта и флокулянта; фильтрование	10...20	9,10,18
Ультра-фильтрационный	Сепарация плавающих нефтепродуктов; разрушение эмульсии органическим реагентом; микрофильтрование; ультра-фильтрация	до 10	11,12
--/	Стандартная технологическая схема ультрафильтрации	5...20	13
Электро-флотационный	Отстаивание; обработка в электрофлотаторе; фильтрование	10...20	14,18,19
--/	Стандартная технологическая схема очистки воды методом ультрафильтрации	до 1	15
Сорбционный	Отстаивание в отстойнике и нефтеловушке; фильтрование на механических и сорбционных фильтрах	до 0,1...0,3	16,17

Выбор оптимального базового метода очистки нефтесодержащих сточных вод, с целью их повторного использования в системах оборотного водоснабжения предприятий, должен производиться с учетом, как минимум, двух основных факторов:

1) Оценки эффективности процесса очистки воды при использовании конкретного метода, т.е. по возможности достижения в процессе очистки воды требуемых показателей ее качества;

2) Определения технологической целесообразности применения рассматриваемого метода в зависимости от объемов очищаемых сточных вод;

Данные таблицы показывают, что с учетом первого фактора, использование всех приведенных базовых методов в технологии водоподготовки позволяет производить очистку нефтесодержащих сточных вод до норм, допускающих их повторное использование в системах оборотного водоснаб-

жения как нефтеперерабатывающих заводов, так и автотранспортных предприятий.

Однако, для крупнотоннажных нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, с большими объемами образующихся нефтесодержащих сточных вод, с учетом второго фактора, в качестве базовых методов подготовки воды для оборотного водоснабжения наиболее целесообразно использовать флотационный и коагуляционный методы.

#### Литература

1 Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности /СЭВ, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР.- М.: Стройиздат, 1979. - 590 с.

2 Бриль Д.М., Ниязов Р.С., Гулина Н.Н. Реагентная флотация нефтесодержащих сточных вод // Тр.ВНИИ по сбору, подготовке и трансп.нефти и нефтепродуктов. - 1979. - N 24. - С. 96 - 101.

3 Обезвреживание нефтесодержащих стоков на береговых предприятиях Минморфлота /Н.М.Варламова, Р.И.Любвиная, М.А.Державец, А.С.Матвеева // Повыш.эффективн.использ. и охраны природ.ресурсов на мор.трансп. - М., 1988. - С. 102 - 107.

4 Abtrennung mineralischer Leichtflüssigkeiten aus Abwasser. Schwerkraftabscheidung und Emulsionstrennung // Krafthand. - 1988. - Bd 61, N 17.- S.1440-1442.

5 Флотационная очистка сточных вод с применением катионных флокулянтов / Л.Н.Буцева, Л.В.Гандурина, Б.М.Устинов, П.П.Придаткин // Химия и технол.топлив и масел. - 1986.- N 6.- С. 36-38.

6 Шандалов С.М., Позднышев Л.Г., Шувалов М.В. Очистка щелочных технологических растворов от нефтепродуктов // Пробл.контроля загрязнения природ.среды и методы очистки пром.выбросов: Тез. докл. обл. науч.-техн. конф. - Куйбышев, 1988.- С. 95-98.

7 Применение водорастворимых полиэлектролитов для очистки нефтесодержащих сточных вод /Г.П.Варюшина, Г.Н.Налецкая, О.Ю.Кузнецов, Н.Н.Сенин // Рац.использ.воды в гор. х-ве Москвы. - М., 1989.- С. 61-67.

8 А.с.1546429 СССР, МКИ<sup>4</sup> С 02 F 1/40, 1/56. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов / С.Д.Покатилова, А.Г.Гусейнов. Опубл. 28.02.90, Бюл. N 8.

9 Roediger M. Keine Nachteile einhandeln. Aufbereitungsanlage entfernt Kohlenwasserstoffe aus Abwassern und entsorgt Emulsionen 33 // Maschinenmarkt.- 1988.- Bd. 94, N 30.- S.22-25.

10 Roediger M. Entsorgung kohlenwasserstoffhaltiger Abwasser und Emulsionen // Wasser, Luft und Betr.- 1988.- N 5.S.28-29.

11 Sedelies R., Müller U., Spei B. Kombinationsverfahren zur Emulsionsspaltung // WLB: Wasser, Luft und Boden.- 1989.N 9.- S. 19-20, 22,24.

12 Ультрафильтрационная очистка нефтесодержащих сточных вод заводов железобетонных изделий /Е.В.Купчинская, И.Н.Липунов, Ю.Г.Мартынова, Г.Г.Редькина //Химия и технол.воды.- 1990.- Т.12, N 6.- С.555-557.

13 Мэн С.К., Шелекетина Т.Г., Парвов А.В. Очистка маслоэмульсионных сточных вод станом холодной прокатки методом ультрафильтрации.// Сталь.- 1986.- N 11.- С.104-108.

14 Anlage trennt stabile Emulsionen // Umweltmagazin.1990.- Bd. 19, Sonderbd.- S.78.

15 New technique for treatment of problematic waste waters //Finn. Trade Rev. - 1981.- N 3.- P.19.

16 Славников А.Э. Глубокая очистка нефтесодержащих сточных вод // Энергетик.- 1985.- N 12.- С.13-15.

17 Тарнопольская М.Г., Байкова С.А., Бочаров А.С. Опыт работы фильтров с загрузкой из мезопористого ископаемого угля при доочистке промышленных ливневых сточных вод автозавода // Очистка про-изв.сточ.вод и утилизация осадков машиностроительн. пром-сти. Матер. Семина.- М.,1988.- С.40-44.

18 Кульский А.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод.- Киев: Высшая школа, 1986.- 352 с.

19 Кульский А.А., Строкач П.П. и др. Очистка воды электрокоагуляцией. - Киев: Будивельник, 1978. - 112 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

**А.П. Головач, П.Ф. Химин, Н.Т. Хими́на, Н.П. Яловая**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассматриваются вопросы проектирования мероприятий по охране окружающей Среды: оценка уровня экологической опасности проектируемого объекта на состояние природных ресурсов, достаточности и обос-*

*нованности предусматриваемых проектом природоохранных мер и мониторинга окружающей Среды.*

ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ, КОМПЛЕКС, ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕПРОДУКТИВНАЯ, СПОСОБНОСТЬ, ТЕРРИТОРИЯ, ПРИРОДОЗАЩИТНЫЕ, МЕРОПРИЯТИЯ

На современном этапе развития общества, с реальной угрозой глобального экологического кризиса, производственная деятельность человека должна стать геологической силой не только по масштабам (количественно), но и по характеру (качественно), оптимально включаясь в структуру природных круговоротов и потоков энергии. Только в этом случае, она может стать функционально необходимым компонентом биосферы, что позволит решить возникшую проблему гармоничного взаимодействия общества и природы. Одним из важнейших условий решения данной проблемы, является всесторонняя экологическая подготовка будущих специалистов сферы производства. С учетом этого, законами Республики Беларусь "Об образовании", "Об охране окружающей среды" закреплена приоритетность экологического образования во всех учебных заведениях, а законом "О государственной экологической экспертизе" предусмотрена обязательность экологической экспертизы всех процессов планирования, проектирования и принятия решений по социально-экономическому развитию Республики Беларусь, осуществлению хозяйственной и иной деятельности на ее территории. Главные цели экспертизы:

- определение уровня экологической опасности, которая может возникнуть, при этой деятельности в настоящем или будущем и прямо или косвенно оказать отрицательное воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения;
- оценка соответствия планируемой, проектируемой хозяйственной и иной деятельности требованиям природоохранного законодательства;
- определение достаточности и обоснованности предусматриваемых проектом мер по охране окружающей среды.

При исследовании взаимодействия компонентов системы "общество-природа", наибольшее внимание должно уделяться природно-промышленным комплексам (ППК), - как относительно самостоятельной природно-промышленной системе [1], в структуру которой входят промышленные, природные, коммунально-бытовые и аграрные объекты, функционирующие как единое целое.

На первом этапе экологических исследований все структурные единицы ППК разбиваются на три звена: промышленное, аграрное и коммунально-бытовое. Проводится анализ состояния окружающей Среды, основанный на изучении природных условий, ресурсов, хозяйств и территории. Цель общей экологической характеристики состоит в том, чтобы вскрыть состояние окружающей среды ППК, в общих чертах сопоставить ее с состоянием окружающей среды смежных районов, а также определить общие экологические параметры - инженерно-экологические характеристики [2]. Прежде всего, следует учитывать демографическую емкость района, то есть, максимальное число жителей, которое может быть размещено в его границах, при условии обеспечения наиболее важных повседневных потребностей населения за счет ресурсов рассматриваемой территории. При этом, необходимо сохранить экологическое равновесие окружающей среды (такое динамическое состояние природной среды района, при котором может быть обеспечена саморегуляция и воспроизводство основных ее компонентов - атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенного покрова, растительности и животного мира).

Важное значение, для установления возможных масштабов промышленного развития района, имеет определение *индекса репродукции*, т.е. отношения показателей репродуктивной способности территории к показателям фактического или перспективного потребления основных ресурсов биосферы. При индексе репродукции, равном 1, можно говорить о сбалансированном потреблении того или иного компонента среды. Индекс репродукции менее 1 - характеризует район как неблагоприятный; в этих случаях, необходимо предусматривать природозащитные мероприятия для восстановления экологического равновесия:

технологические - применение новых технологий, создание замкнутых циклов и безотходных и малоотходных производств, облагораживание топлива и т. д.;

санитарно-гигиенические - механические, физико-химические и биологические методы очистки и физические методы извлечения взвесей и жидких примесей и др.;

планировочные - выбор под застройку хорошо проветриваемых склонов, свободных от явлений инверсии и кумуляции загрязнений в приземном слое воздуха; правильное взаимное размещение источников выбросов и санитарных зон с учетом направления ветров; размещение вновь строящихся промышленных, энергетических и других объектов с учетом зонирования территории; установление соответствующих режимов использования тер-

ритории в соответствии с ее инженерно - экологическими характеристиками;

пассивные - сооружение высотных источников выброса вредных веществ и устройство санитарно-защитных зон различной ширины:

для предприятий I класса санитарной вредности - 1000; II - 500; III - 300; IV - 100; V - 50 м, территории которых должны быть благоустроены и озеленены, согласно [4];

градостроительные - применение рациональных приемов застройки улиц и микрорайонов, обводнение и озеленение территории, согласно [5].

На втором этапе, все структурные элементы группируют в производства, хозяйства и объединяют по территориальному признаку. Производства (основное, вспомогательное) выделяются по отраслям промышленности, характеру деятельности и другим признакам, но общим является то, что они оказывают влияние на природную Среду, а через нее - на хозяйства (сельское, лесное, рыбное) и территории (селитебная, рекреационная, особого режима и т.д.), оказавшиеся в зоне этого влияния. Затем, производится зонирование урбанизированной среды, где выделяются следующие основные экологические зоны:

**экозона генерации**, которая обладает мощным источником концентрированных веществ (энергии) направленного действия. Источник с отрицательными характеристиками, например, цементный завод - снабжается знаком "-", источник с положительными характеристиками, например, зеленые насаждения - снабжается знаком "+";

**экозону потребления**, которая, в основном, поглощает вещества (энергию), как правило, - это среда жилых районов. Указанные зоны имеют важную закономерность: экозоны генерации с отрицательным знаком имеют повсеместную тенденцию к объединению и усилению своего влияния; экозоны с положительным знаком, как правило, дробятся и радиус их влияния постоянно уменьшается. Следовательно, экозоны отрицательной генерации нужно разграничивать - изолировать их влияние в круговороте элементов или сделать его прерывистым. И, наоборот, экозоны положительной генерации - необходимо объединять и использовать их общее влияние в едином цикле жизнедеятельности города.

На третьем этапе исследования, в производстве выделяют участки, имеющие наибольший вклад в создание приземных концентраций загрязняющих веществ. В каждом конкретном случае, необходимо определить, для каких источников следует сокращать выбросы (сбросы) в первую очередь, чтобы получить наибольший эффект.

Четвертый этап экологических исследований, заключается в выявлении последствий воздействия технологических процессов на природную среду. В первую очередь, выделяются реципиенты: выделы (пашни, пастбища, сенокосы, лесные насаждения, водотоки и водоемы, места нереста или откорма рыбы и т.п.) и объекты (жилые массивы, парки, санатории, заповедники и заказники и др.), в разной степени испытывающие воздействие и обладающие различной устойчивостью к нему. Для определения степени воздействия, выделяются технологические площадки, которые включают источники нарушения и загрязнения природной среды, что позволяет в дальнейшем определить качественные и количественные показатели воздействия.

### Литература

1 Иванов Б.А. Инженерная экология. - Л.: Издательство Ленинградского университета, 1989.- 152 с.

2 Рекомендации по охране окружающей среды в районной планировке. - М.: Стройиздат, 1986.- 160 с.

3 Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН 245-71).

4 Методические рекомендации по использованию зеленых насаждений для оптимизации условий труда в промышленных центрах и на предприятиях Республики Беларусь. Утверждены министром природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 22 июля 1996 г. Приказ № 166.

5 Правила по организации и ведению зеленого хозяйства в городах Республики Беларусь. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Вып. 18. - Мн., 1997 с. 50 - 112.

## **РАСТВОРЕННЫЕ ГУМУСОВЫЕ ВЕЩЕСТВА КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ГИДРОЭКОСИСТЕМ**

А.П. Головач, В.М. Крайко

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Исследована проблема растворенных гумусовых веществ как фактора устойчивости к загрязнению гидроэкосистем.*

## РАСТВОРЕННЫЕ, ГУМУСОВЫЕ, ВЕЩЕСТВО, ФАКТОР, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ГИДРОЭКОСИСТЕМА

В процессах, происходящих в водоемах и водотоках в естественных условиях, в частности, связанных с интенсивностью самоочищения и формирования качества природных вод, важную роль играют гумусовые вещества. Составляя значительную часть растворенных органических веществ в поверхностных водах Республики (до 70...90 %), они формируют, в основном, естественный фон примесей. Взаимодействуя с металлами и органическими веществами, гумусовые кислоты являются своего рода носителями данных компонентов в воде, активно участвуя в процессах их трансформации, переноса и накопления в гидроэкосистемах. Растворенные органические вещества, гумусовые вещества, гуминовые кислоты, фульвовые кислоты, молекулярно-массовое распределение. Природные поверхностные воды - это сложнейшие гетерогенные многокомпонентные системы, содержащие до 60...70 элементов Периодической системы Менделеева и тысячи природных и антропогенных органических веществ [1], из которых около 1000 наименований строго нормируются. Возрастающая производственно-хозяйственная деятельность человека приводит к неизбежному увеличению концентрации тяжелых металлов и органических загрязняющих веществ в природных водах. Воздействие загрязнителей на экосистему в значительной степени зависит от особенностей миграции их в гидросфере. Имеется, в определенной степени, обоснованное предложение, при установлении предельно-допустимых концентраций, учитывать не только абсолютную концентрацию отдельных веществ в воде, но и форму существования их в виде определенных соединений, а также состояние этих соединений в водах, зависящее от величины pH - среды и других факторов. Например, большинство природных вод обладает способностью связывать ионы тяжелых металлов, поступающих в водные объекты. "Буферная ёмкость" воды, с точки зрения потенциальной возможности снижения токсического воздействия тяжелых металлов на гидробионтов, определяется величиной ее комплексообразующей способности. Наиболее существенный вклад в комплексообразующую способность природных вод вносит растворенное органическое вещество, о чем свидетельствуют данные экспериментов по предварительному облучению исходных проб воды, которое приводит к заметному уменьшению и даже исчезновению комплексообразующей способности природных вод [2]. Изучение органического вещества природных вод является одной из важнейших проблем современной гидрохимии. Именно орга-

ническое вещество, растворенное и взвешенное, живое и косное, определяет в основном ту разницу, которая существует между природной водой и раствором тех же солей и газов в дистиллированной воде.

Для природных поверхностных вод Республики Беларусь, наряду с исключительным разнообразием состава растворенных органических веществ (РОВ), характерен широкий диапазон вариаций содержания отдельных компонентов, а также доминирование природных высокомолекулярных гидрофильных веществ, собственно гумусовой природы - фульвовых и гуминовых кислот (ФК и ГК), которые представляют собой биохимические устойчивые полифункциональные соединения, обладающие свойствами слабых кислот. В поверхностных водах гумусовые вещества (ГВ) составляют 60...90 % от общего количества РОВ и, находясь в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии, формируют, в основном, естественный фон примесей. Их многоосновный полифункциональный характер позволяет отнести эти высокомолекулярные вещества к би- и даже - полидентантным лигандам, склонным образовывать с металлами устойчивые комплексные соединения хелатного типа. В результате связывания свободных ионов гумусовые соединения уменьшают токсичность воздействия на гидробионтов  $Cu$ ,  $Cd$  и  $Pb$  [3]. Гумусовые вещества, в значительной мере, определяют "буферную емкость" водных экосистем не только к металлам, но и к органическим загрязнителям. Наличие гумусовых веществ снижает биоусвояемость многих гидрофобных органических токсикантов, так как образующиеся комплексы не способны к диффузии через жаберную мембрану, например, константа скорости поглощения и биоконцентрирования бенз(а)пирена атлантическим лососем снижается на 30 % [4]. С растворимым гумусом связано до 96 % аминокислот, доля которых достигает 21...35% в азотсодержащей фракции органического вещества природных вод; гуминовые и фульвокислоты способны увеличивать в несколько раз растворимость пестицидов,  $n$ -алканов и полиароматических углеводородов; взаимодействие гумусовых веществ с дигидроабетиновой кислотой и 2,4,6-трихлорфенилом увеличивает их токсичность и, одновременно, уменьшает биоконцентрацию в водорослях [5].

Большое количество органических и минеральных соединений включают стоковые торфяно-болотные воды с осушаемых и используемых в сельском хозяйстве торфяных месторождений, так с торфяных месторождений низинного типа в год выносятся до 550...825 кг минеральных и 450...675 кг органических веществ. Органические вещества, в зависимости от сроков

осушения и освоения месторождения, на 50...95 % представлены гумусовыми веществами. Как видно из таблицы 1 концентрация гумусовых веществ торфяно-болотных вод возрастает с увеличением цветности. Одновременно, увеличивается содержание ГК и доля ионов железа, связанных с ГВ ( $Fe_{связ}$ ). Изучение молекулярно-массового распределения (ММР) гумусовых веществ торфяно-болотных вод на сефадексах G-15 и G-25 показало, что они представлены преимущественно двумя фракциями: высокомолекулярной (молекулярный вес - более 5000 а.е.м.) и низкомолекулярной (молекулярный вес - до 1500 а.е.м.). В состав высокомолекулярной фракции входят, в основном, ГК, а низкомолекулярной - ФК, что подтверждено данными ЭПР-спектроскопии. В результате ультрафильтрации на полисульфоновых фильтрах, из пробы № 3 выделен фильтрат, содержащий низкомолекулярную фракцию гумусовых кислот. При относительно стабильном содержании ионов железа в исходной воде и фильтрате - 1,5 и 1,48 мг/л, соответственно, - доля ионов железа, связанных с гумусовыми кислотами, снизилась с 35 % в исходной воде до 27 % в фильтрате. То есть, высокомолекулярная фракция, представленная в основном ГК, обладает большим родством с ионом Fe, чем низкомолекулярная, состоящая в основном из ФК.

Таблица 1 Характеристика органических веществ торфяно-болотных вод

Торфяное месторождение	Номер пробы	Цветность, град.	Концентрация ГВ, мг/л	Концентрация ГК, % от ГВ	$Fe_{общ}$ , мг/л	$Fe_{связ}$ , % от $Fe_{общ}$
Низинное	№ 1	55	33,8	3	0,51	17
	№ 2	89	36,0	5	0,59	30
Верховое	№ 3	500	49,1	8	1,5	35

Гидрохимический анализ проб, отобранных в реках Припять, Ясельда, Бобрин, показал, что для данных водотоков характерно высокое содержание растворенных органических веществ (таблица 2), динамика изменений которых выражена значительными сезонными колебаниями. Многолетние данные показывают, что значения перманганатной окисляемости (ПО) изменяются в речных водах в пределах 15...50 мг О/л с максимумами в осенне-зимний период. Биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) наиболее значительно в период весеннего половодья (возрастает от 1,5 до 6 мг О/л). Вниз по течению Припяти в общем количестве растворенных органических веществ увеличивается доля нестойких соединений (продуктов жизнедеятельности организмов почв и водотока). Для Ясельды характерен обратный

процесс: вниз по течению растет содержание ГВ. В общем случае, влияние стока Ясельды и Бобрিকা на Припять проявляется в увеличенном транспортировании гумусовых веществ. Повышенное содержание ГВ (8–13 мг/л) обуславливает высокую цветность речных вод. ГВ имеют высокую степень окисления перманганатом калия, поэтому, между цветностью и ПО существует положительная корреляция ( $r = 0,73$ ). Основное количество гумуса поступает в реки, вследствие дренирования обширных заболоченных массивов. Среди ГВ преобладают фульвокислоты (до 97 %). Речная вода содержит меньшее количество гуминовых кислот (1,3...3 %), чем изучаемая в сравнении с ней торфяно–болотная (3...8 %), но большее количество связанных ионов тяжелых металлов (до 90 % по сравнению с 35 %).

Таблица 2 Загрязнения органического происхождения в водах рек бассейна Припяти

Пункт отбора пробы на реке	Цветность, град.	БО, мг/л	ПО, мг/л	БПК <sub>5</sub> мг О/л	C <sub>орг</sub> мг/л	ГВ, мг/л	ГК, % от ГВ	Fe <sub>связ</sub> % от Fe <sub>общ</sub>
Припять, Пинск	170	37,15	20,2	2,36	22,2	8,75	2,2	44
Припять, Кожан-Городок	201	35,64	23,4	2,68	25,74	9,38	2,5	50
Припять, Туров	194	59,36	21,5	3,48	23,65	13,0	2,8	56
Припять, Петриков	196	60,1	20,7	2,48	22,77	7,2	1,5	45
Припять, Мозырь	214	69,8	23,6	3,98	25,96	12,8	2,0	48
Ясельда, Береза	110	51,98	18,2	2,42	20,02	10,5	3,0	88
Ясельда, Поречье	190	60,89	22	2,38	24,20	8,98	1,3	39
Ясельда, устье	205	34,16	22,7	3,10	24,97	9,3	1,5	40
Бобриск, Луний	410	62,37	34,2	3,42	37,62	10,2	2,0	40

Увеличение доли ионов железа, находящихся в виде хелатных комплексов с гумусовыми кислотами, связано, главным образом, с изменением соотношения фракций ГВ с различными молекулярными массами: до 1500

а.е.м., 1500...5000 а.е.м., свыше 5000 а.е.м. В изучаемых образцах, соединения гуминовых кислот с молекулярными массами более 5000 а.е.м. составляют приблизительно 18 %, с массами 1500...5000 а.е.м. ... приблизительно 32 %, с массами менее 1500 ... приблизительно 50 %, для ФК эти значения - 12 %, 26 % и 62 % соответственно.

Чем выше содержание в воде гумусовых веществ, тем больше в ней концентрация железа в форме растворенных комплексов. Так как ФК составляют основную часть растворенных органических соединений в природных водах, то ионы железа закомплексованы, главным образом, с многофункциональными ФК. Благодаря полидентантному характеру и наличию кислородных лигандных атомов, ФК обладают высоким сродством к ионам трехвалентного железа. В то же время, для ионов  $Fe^{3+}$  более характерно комплексообразование с высокомолекулярными соединениями с молекулярной массой свыше 10 тыс. а.е.м. В речных водах при снижении общего количества гумусовых веществ, по сравнению с торфяно-болотными водами, возрастает количество высокомолекулярных ФК, что и приводит, в конечном итоге, к увеличению доли связанных ионов железа.

Сезонная молекулярная динамика превращения гумусовых веществ в реках бассейна Припяти характеризовалась усреднением по массам в осенний период, по сравнению с летним, что приводит к снижению комплексообразующей способности гидроэкосистемы на 10-20 % (по  $Fe^{3+}$ ).

#### Литература

- 1 Тенденции изменения гидрохимического режима рек бассейна Верхнего Днепра (1947-1982)/В.И. Пелешенко, В.К. Хильчевский, Н.И. Ромась и др.// Гидрохим. матер. - 1987. - Т. 99. - С. 20-25.
- 2 Photochemical aging of humic substances / D. Kotzias, M. Herrmann, A. Zsolnay // *Chemosphere*. - 1987, № 7. - P. 1463-1468.
- 3 Characterization of metal binding sites in fulvic acids by lanthanide ion probe spectroscopy / J.C. Dobbs, W. Susetyo, F.E. Knight, M.A. Castles // *Anal. Chem.* - 1989. - Vol. 61, № 5. - P. 483-488.
- 4 Johnsen S., Kukkonen J., Grande M. Influence of natural aquatic humic substances on the bioavailability of benzopyreneto atlantic salmon // *Sci. Total Environ.* - 1989, № 81-82. - P. 691-702.
- 5 Shinozuka N., Lee C., Hayano S. Solubilizing action of humic acid from marine sediment // *Sci. Total Environ.* - 1987, № 62. - P. 311-314.

## О СТРОЕНИИ ФЛОКУЛ АКТИВНОГО ИЛА

А.С. Хайко

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*На основе анализа литературных данных предложена общая модель строения флокул активного ила, систематизированы различные типы химических связей, влияющих на образование флокулы.*

### ФЛОКУЛЯЦИЯ, АКТИВНЫЙ, ИЛ, АДСОРБЦИЯ, БИОПОЛИМЕРЫ

Активный ил, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет собой биоценоз микроорганизмов и простейших с адсорбированными и частично окисленными загрязнениями, извлеченными из сточных вод в процессе биологической очистки. Это сложная гетеротрофная система биологических сообществ микроорганизмов, способных к биохимическому окислению загрязнений, состоящая из различных систематических групп: бактерий, актиномицетов, простейших, грибов, водорослей, вирусов, членистоногих. Состав микроорганизмов активных илов формируется в зависимости от экологических условий, основными из которых являются состав обрабатываемых сточных вод, концентрация растворенного кислорода, температура, рН, соотношение количества питания и числа микроорганизмов [1,2].

Основная роль в процессах очистки сточных вод принадлежит бактериям, число которых в расчете на 1 г сухого вещества ила колеблется от  $10^8$  до  $10^{14}$  клеток [1]. По современным представлениям, клеточная поверхность большинства микроорганизмов сформирована мозаикой из катионных и анионных групп. На одну клетку приходится  $10^6 \dots 10^7$  положительных и  $10^7 \dots 10^8$  отрицательных зарядов, т.е. большинство микроорганизмов имеют избыточный отрицательный заряд [2]. Поэтому частицы активного ила несут отрицательный заряд при  $\text{pH}=4 \dots 9$  [1]. Этот заряд зависит от видовой принадлежности, строения и физиологического состояния клеток и может варьироваться в широких пределах. В отличие от частиц небиологической природы, имеющих четкую границу раздела фаз, клеточная поверхность формируется на основе поверхностных структур, включающих клеточную стенку, капсулы, пили, жгутики, каждая из которых может оказывать влияние на электрические поверхностные характеристики биосуспензий и определять их устойчивость [2].

Биосусpendingия активного ила обладает способностью образовывать в дисперсных системах агрегаты из нескольких частиц (флокулы, хлопья) [3,4]. Благодаря этому, проявляется ее важнейшее, с точки зрения технологии обработки осадков сточных вод, свойство - способность к хлопьеобразованию и седиментации. Способность микроорганизмов к агрегированию и оседанию в данной среде зависит от многих факторов, которые можно разделить, согласно [2], на три основные группы:

а) генетические, связанные с морфологией, физиологией и метаболизмом микроорганизмов, такие, как размер, форма, зарядные характеристики клеток, наличие в среде внеклеточных полимерных материалов;

б) факторы окружающей среды - температура, вязкость, рН, концентрация ионов металлов, содержание биомассы, освещенность;

в) факторы целенаправленного химического или физико - химического воздействия с целью регулирования коллоидно-химических свойств дисперсий микроорганизмов (обработка коагулянтами, флокулянтами, флотация и др.).

В гипотезах, касающихся флокуляции микроорганизмов активного ила, это явление рассматривается либо как основанное на свойствах одного вида микроорганизмов, либо - как физико-химический процесс [4]. Из гипотез последнего направления все большее признание получает гипотеза о главенствующей роли внеклеточных биополимеров. Согласно ей, бактериальная флокуляция - физиологическое состояние микроорганизмов, и она не наблюдается до тех пор, пока не заканчивается фаза роста и не наступает фаза эндогенной респирации. Флокуляция не определяется каким-либо одним микроорганизмом, она свойственна многим бактериальным культурам. Имеется прямая корреляция между аккумуляцией микроорганизмами внеклеточных биополимеров, увеличением отношения их содержания к массе бактерий и хлопьеобразованию. Внеклеточные органические полимеры, обуславливающие биофлокуляцию, представлены четырьмя категориями: полисахаридами, белками, РНК и ДНК [1].

Полисахариды, синтезируемые микроорганизмами, делятся на внеклеточные и внутриклеточные. Механизм высвобождения данных биополимеров, до сих пор, подробно не изучен. Высказано предположение [5], о роли лигазной реакции, в ходе которой полимер освобождается и связывается с клеточной поверхностью. Местом присоединения может служить какой-либо наружный мембранный белок. Очевидно, существует определенное число мест связывания, после насыщения которых избыток полисахарида выделяется уже в виде слизи. Внеклеточные полисахариды находятся в

форме внеклеточных капсул или слизей, не связанных с клеточной стенкой. По данным [5], в их состав входит небольшой набор моносахаридов (нейтральные гексозы, метилпентозы, кетосахара, аминсахара, уроновые кислоты), однако разное их сочетание дает биополимеры с разнообразными физическими свойствами.

В настоящее время, наибольшее признание получили две модели флокуляции суспензий микроорганизмов [2]. Согласно Ла Меру, для флокуляции необходимы адсорбция одной макромолекулы или ассоциации макромолекул биополимеров на нескольких бактериальных клетках и образование хлопьев, состоящих из частиц, связанных полимерными мостиками. Вследствие этого, образуется трехмерная структура. Усиление флокулирующей способности внеклеточных биополимеров в присутствии низкомолекулярных электролитов с многозарядными ионами объясняется образованием сложных мостиков типа "частица-макроион биополимера – многозарядный ион- макроион биополимера – частица", вследствие связывания многозарядных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и др.) с функциональными группами (-ОН, -СООН,  $-\text{HPO}_4$  и др.) адсорбированного биополимера [2].

Другой механизм флокуляции бактериальных суспензий предложен Грегори [2]. Согласно его представлениям, флокуляция коллоидных частиц, в том числе и бактерий, наступает в результате нейтрализации заряда поверхности при адсорбции на ней полиэлектrolита (в нашем случае - биополимера). При этом, предполагается, что биополимер связывается с поверхностью большим числом контактов, разворачиваясь на ней с формированием "мозаичной структуры" из примерно равного числа зарядов разного знака. Электростатическое отталкивание значительных участков поверхности бактериальных клеток, при этом, исчезает.

Предложена структура хлопка активного ила [6], включающая бактериальные клетки, адсорбирующие ионы металлов на своей электроотрицательной поверхности, и внеклеточные биополимеры, также обладающие поверхностным зарядом (причем разные участки биополимеров несут различный заряд и тоже сорбируют ионы металлов).

На основе анализа литературных данных, автор предлагает общую модель флокулы активного ила, которая приведена на рисунке 1. Гидратные слои и адсорбированные загрязнения условно не показаны.

В соответствии с предложенной моделью, флокуляция микроорганизмов может происходить с использованием четырех видов связей:

1) связь, возникающая благодаря адсорбции участков молекулы биополимера на нескольких бактериальных клетках;

II) связь, возникающая в результате действия сил притяжения между бактериальными клетками (сил Ван-дер-Ваальса), благодаря тому, что биополимер, разворачиваясь на их поверхности, нейтрализует заряд на значительных участках и снижает их электростатическое отталкивание;

III) связь, возникающая благодаря образованию мостиков типа "частица – макроион биополимера – многозарядный ион – макроион биополимера – частица", вследствие связывания многозарядных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  др.) с функциональными группами (-ОН, -СООН,  $-\text{HPO}_4$  и др.) адсорбированного биополимера;

IV) связь, возникающая, благодаря адсорбции на поверхности клетки многозарядных ионов металлов, которые, в свою очередь, могут быть связаны с функциональной группой биополимера.

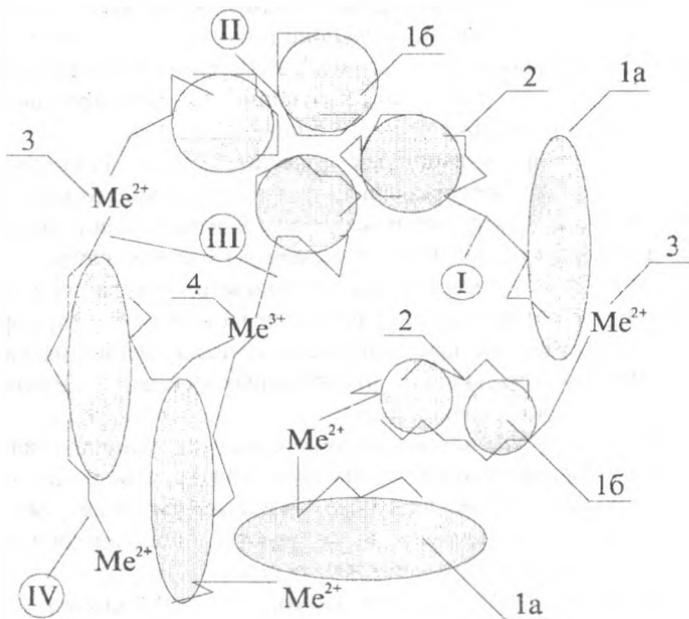


Рисунок 1 Строение флоккулы активного ила: I, II, III, IV - различные типы связи; 1 - бактериальные клетки: 1а - палочки, 1б - кокки; 2 - молекулы биополимеров, 3 - ионы двухвалентного металла, 4 - ионы трехвалентного металла.

Механизм образования последней может быть различным. Либо вначале на поверхности бактериальной клетки адсорбируется многозарядный ион металла, а затем с ним связывается функциональная группа биополимера, либо вначале ион металла связывается с молекулой биополимера, а затем адсорбируется на поверхности бактериальной клетки. Можно также предположить, что одна макромолекула биополимера может участвовать в образовании связей различных типов.

Интенсифицировать процесс флокуляции можно, извлекая внутриклеточные полимеры, в частности полисахариды, из клеточных стенок нагреванием, ферментативным, слабо кислотным или щелочным гидролизом. Изменение pH жидкой фазы является основным фактором влияющим на флокуляцию. Такая предварительная обработка позволяет заметно интенсифицировать процесс сгущения суспензии активного ила [1,4].

#### Литература

1 Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод.- М.: Стройиздат, 1980.- 200 с.

2 Баран А.А., Тесленко Л.Я. Флокулянты в биотехнологии.- Л.: Химия, 1990.- 144 с.

3 Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988. - 248 с.

4 Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков.- М.: Химия, 1992.- 144с.

5 Биотехнология. Принципы и применение: Пер. с англ./ Под ред. И. Хиггинса, Д. Беста, Дж. Джонса.- М.: Мир, 1988.- 480 с.

6 Morgan J.W., Forster C.F. A comparative study of the sonication of anaerobic and activated sludges //J. Chem. Technol. and Biotechnol.- 1992.-55, N1- С.53-58.

## ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Е.И. Дмухайло, А.С. Хайко

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Предлагается новая технология обработки осадков сточных вод, основанная на применении аэробной термофильной стабилизации, флотацион-*

*ного сгущения и обеззараживания с помощью установки пульсирующего горения.*

ОСАДКИ, ГОРОДСКИЕ, СТОЧНЫЕ, ВОДЫ, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ, АЭРОБНАЯ, ТЕРМОФИЛЬНАЯ, СТАБИЛИЗАЦИЯ, ФЛОТАЦИОННОЕ, СГУЩЕНИЕ, УСТАНОВКА, ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ, ГОРЕНИЕ

При очистке сточных вод, наиболее значительное место, как по стоимостным, так и по объемным показателям занимает обработка осадков. Проблема обработки и утилизации осадков сточных вод - одна из злободневных и нерешенных экологических проблем, в особенности для государств с экономикой переходного типа. Цель обработки - обеспечить определенную степень сгущения, стабилизации в процессах анаэробного и аэробного сбраживания, окончательного уплотнения и обеззараживания, а также уменьшить содержание ионов тяжелых металлов и других токсических элементов. После этого, осадки могут быть дополнительно обезвожены и депонированы. Однако, с экономической и экологической точек зрения, использование осадков городских сточных вод в качестве удобрения остается наиболее приемлемым способом их утилизации, при условии исключения токсических и других санитарно-гигиенических рисков.

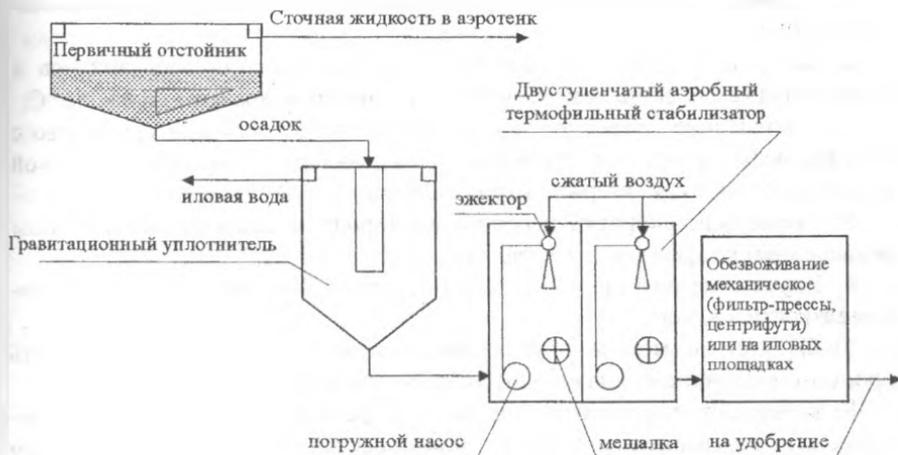
Предлагается разработка технологии аэробной термофильной стабилизации, флотационного сгущения и обеззараживания осадков городских сточных вод, схема которой приведена на рисунке 1.

Анализируя технологические и экономические аспекты различных способов обработки осадков сточных вод, можно сделать вывод, что технология экзотермической, аэробно-термофильной стабилизации (АТС) является наиболее эффективной. АТС сравнительно недавно применяется на Западе (ФРГ, Великобритания и др.), как альтернативное решение, по отношению к традиционным технологиям обработки осадков городских сточных вод. АТС, называемое также "жидкое компостирование", позволяет достичь высокой степени минерализации и обезвоживания осадка.

В процессе АТС происходит значительный подъем температуры, благодаря саморазогреванию осадка за счет освобождения свободной энергии при превращении органических веществ в новые клеточные структуры. Это требует применения теплоизолированных биореакторов и высокопроизводительных систем струйной (эжекторной) аэрации. Технология АТС может применяться при наличии в осадках более 2,5% твердого вещества, что достигается посредством гравитационного уплотнения сырого осадка в пер-

вичных отстойниках и флотационного сгущения избыточного активного ила.

### ОБРАБОТКА ОСАДКА ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ



### ОБРАБОТКА ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

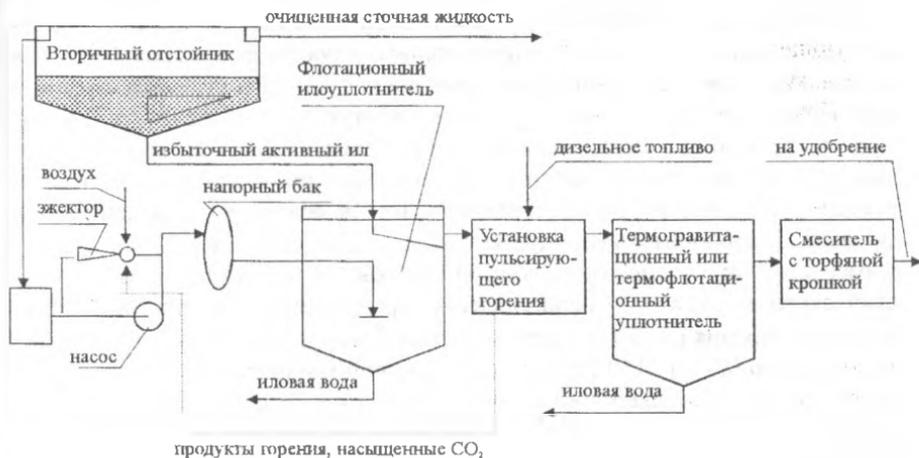


Рисунок 1 Технологическая схема обработки осадка первичных отстойников и избыточного активного ила.

Основные преимущества систем АТС:

- 1) Сокращение требуемых объемов сооружений, за счет высокой скорости распада органического вещества (1..3 суток);
- 2) Высокая надежность и быстрая адаптация, в случае поступления токсичных веществ;
- 3) Высокая степень обезвреживания патогенных микроорганизмов и разрушения семян сорняков, за счет повышения температуры до 45...55° С;
- 4) Уменьшение потребности в кислороде на 30..40%, по сравнению с мезофильным процессом аэробной стабилизации, поскольку, при такой температуре гибнут бактерии нитрификаторы;
- 5) Увеличение скорости переноса кислорода, в связи со значительным повышением коэффициента диффузии этого газа;
- 6) Улучшение разделения жидкой и твердой фаз, вследствие уменьшения вязкости жидкости;
- 7) Отсутствие метана обуславливает взрыво- и пожаробезопасность процесса, в отличие от анаэробного сбраживания [1];
- 8) Конкурентоспособность для систем средней и большой производительности, по сравнению с анаэробной обработкой. Стоимость обработки составляет 70 \$ на одну тонну сухого вещества [1]. Сгущение осадков предполагается осуществлять способом напорной флотации, с использованием в качестве флотационного агента парогазовой смеси от установки пульсирующего горения, которая, одновременно, служит для обеззараживания осадка. Растворимость этой смеси, содержащей 10...15% углекислого газа, в рабочей жидкости в 5...7 раз выше, чем у воздуха. Это позволяет резко снизить энергозатраты на флотационное сгущение. Окончательное обеззараживание осадка осуществляется термообработкой в установках пульсирующего горения, путем контактного нагрева осадка в распыленном состоянии. Теплоноситель (продукты горения) движется в колебательном режиме, при этом, возникают эффекты “шокового” нагрева и мощного акустического озвучивания. Теплоноситель продуцируется аппаратом пульсирующего горения (АПГ) и имеет температуру в факеле 1300...2000°К , частоту пульсаций - 30...150 Гц, уровень звуковой мощности 80...120 дБ. АПГ, в данном случае, является компактным “газовым насосом”, в котором тепловая энергия непосредственно переходит в кинетическую энергию высокоскоростного потока газов.

Основными преимуществами такого обеззараживания являются:

- 1) Возможность сжигания жидкого или газообразного топлива без применения дорогостоящих топочных устройств с малыми избытками воздуха при его самонаддуве, отсутствие недожогов;
- 2) Экономия топлива, электроэнергии, за счет интенсификации тепло-массообмена и повышения к.п.д. сжигания;
- 3) Компактность, простота конструкции и обслуживания, большие допуски при изготовлении, гибкость компоновочных решений, самоочищение поверхностей нагрева, безопасность в работе;
- 4) Улучшение свойств осадка перед обезвоживанием, за счет термоакустической интенсификации отдачи воды, связанной частицами осадка, что позволяет отказаться от применения дорогостоящих флокулянтов.

В лаборатории "Пульсар" Брестского политехнического института, исследованы возможности применения АПГ для контактного нагрева воды. Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Северянин В.С. является автором многочисленных разработок по прикладному использованию пульсирующего (вибрационного) горения. Изучены процессы распыла, нагрева, испарения и движения капель воды в вихревом газовом пульсирующем дисперсном потоке, а также создан и испытан высококоэффициентный контактный водонагреватель.

Эти работы свидетельствуют о перспективности применения способа пульсирующего горения, с целью создания высокоэффективных, экологически чистых, установок для обеззараживания и кондиционирования осадков городских сточных вод, с целью удовлетворения требований к их перевозке, хранению и использованию в качестве удобрения.

Технологические характеристики отдельных установок известны из литературных источников, однако, необходимы дополнительные опытно-конструкторские разработки и исследования, для создания основ расчета и конструирования подобных установок, их общего масштабирования и оптимизации. Значимость предлагаемой, экологически чистой физико-биохимической технологии обработки органических осадков сточных вод, очевидна, и она может и должна найти достойное применение в недалеком будущем.

#### Литература

1 Edikgton R., Clay S. Evaluation and development of a thermophilic aerobic digester at Castle Donington sewage-treatment works / J. Inst. Water and Environ. Manag. (G. Brit.), 1993.- v.7, N2.- с. 149-154.

## УСТАНОВКА ДЛЯ НАСЫЩЕНИЯ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ С ЦЕЛЬЮ БОРЬБЫ С ЗАМОРАМИ РЫБЫ

Е.И. Дмухайло, А.С. Хайко

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Приводится принципиальная схема и описание установки, которая используется для насыщения воды кислородом, с целью борьбы с заморами рыбы.*

КИСЛОРОДНОЕ, ГОЛОДАНИЕ, ВОДОЕМ, МЕЛКОПОРИСТЫЕ, ЭЛЕМЕНТЫ, МЕШАЛКА, КОНЦЕНТРАЦИЯ, КИСЛОРОДА

Необходимое содержание кислорода в воде для водоемов рыбохозяйственного назначения должно быть не ниже  $6 \text{ г/м}^3$ . Массовые заморы рыбы возникают в результате кислородного голодания водоема. Чаще всего, кислородное голодание водоемов наблюдается в зимний период при устойчивом ледоставе, реже - в летний, при жаркой погоде и небольшой глубине водоема, в результате массового развития сине-зеленых водорослей.

Главная причина снижения содержания кислорода в воде в зимний период - отсутствие контакта свободной поверхности воды и воздуха. В связи с этим, предлагается мобильная установка для перемешивания и насыщения воды кислородом. При необходимости, установка может быть погружена на автомобильную или железнодорожную платформу и доставлена по месту назначения. Принципиальная схема установки показана на рисунке 1.

Установка работает следующим образом. Сжатый кислород, из баллона 1, пройдя редуцирующий клапан 2, попадает в аэрационный узел 3, рабочая часть которого состоит из мелкопористых металлокерамических элементов 4, в виде пузырьков диаметром до 1 мм диспергируется в воду. Мешалка 5, создает закрученный горизонтальный поток воды, который препятствует вертикальному всплытию пузырьков кислорода. В процессе движения этого закрученного потока, происходит интенсивное растворение кислорода в воде. Часть кислорода, которую не удастся растворить сразу, всплывает в зоне водоема, затянутой льдом, и также может постепенно растворяться, а также непосредственно заглатываться рыбой (при остром недостатке кислорода в воде).

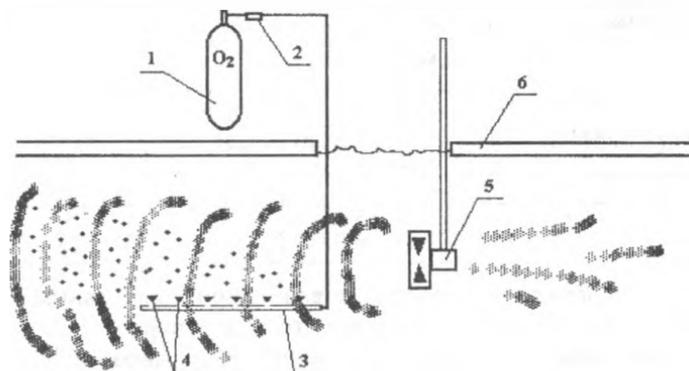


Рисунок 1 Схема установки для перемешивания и насыщения воды кислородом: 1 - баллон с кислородом, 2 - редукционный клапан, 3 - аэрационный узел, 4 - мелкопористые металлокерамические элементы, 5 - мешалка, 6 - ледовый покров.

По современным технологиям, можно изготовить мелкопористые элементы с заданным диаметром пор. Например, площадь пор металлокерамического элемента составляет 60...80% от его общей поверхности. Необходимый диаметр пор ( $d$ , м) элемента можно определить по формуле, приведенной в [1]

$$d = \frac{4 \cdot \rho \cdot g \cdot r^3}{3 \cdot \sigma}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $r$  - радиус пузырька кислорода, м;  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения воды, Н/м.

Критический расход газа через одну пору  $W_{\text{кр}}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  (при расходе выше критического диаметр пузырьков превышает рассчитанный по формуле - 1 определяется по формуле, приведенной в [1]

$$W_{\text{кр}} = \frac{2\pi \cdot r^2 \cdot \omega}{3}, \quad (2)$$

где  $r$  - радиус пузырька кислорода, м;  $\omega$  - скорость всплытия пузырька, м/с. К примеру, для пузырьков радиусом 0,39...0,53 мм, скорость всплытия составляет 7,1...12,5 см/с [2].

Другим важным элементом установки является мешалка. Мешалки шведской фирмы "FLYGT" надежны, экономичны и просты в эксплуата-

ции. В таблице 1 приведены некоторые характеристики нескольких мешалок, выпускаемых фирмой "FLYGT".

Таблица 1 Характеристики мешалок

Тип мешалки	Перемешиваемый расход Q, м <sup>3</sup> /с	Размеры, обрабатываемой зоны, м		Мощность двигателя, кВт	Цена, \$
		длина	ширина		
4351	0,08	20	5	0,8	2590
4650	0,80	55	15	5,0	7200
4670	1,60	90	23	13,0	14300

Начальное содержание кислорода в воде принимаем равным  $C_0=0\text{г/м}^3$ , теоретическое максимально возможное его содержание -  $C = 61,3\text{ г/м}^3$  (с учетом растворимости кислорода в воде при 5°C, равной  $0,0429\text{ м}^3/\text{м}^3$ , и плотности кислорода при н.у.  $1,429\text{ кг/м}^3$  [1,3]). Исходя из этого, можно определить максимальный массовый расход кислорода ( $M_K$ , г/с) через пористые элементы

$$M_K = C \cdot Q, \quad (3)$$

где  $C$  - максимальная концентрация кислорода, равная растворимости чистого кислорода в воде  $\text{г/м}^3$ ;  $Q$  - объемный расход воды перемешиваемый мешалкой,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Среднее время обработки водоема азрационной установкой ( $T$ , ч) можно определить по формуле (4).

$$T = \frac{V}{3600 \cdot Q}, \quad (4)$$

где  $V$  - объем воды в водоеме,  $\text{м}^3$ ;  $Q$  - объемный расход воды перемешиваемый мешалкой,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Общая стоимость установки, в зависимости от выбранного типа мешалки и рассчитанного оптимального количества мелкопористых элементов, может составлять от 3...4 до 10...15 тыс. \$.

#### Литература

- 1 Перепелкин К.Е., Матвеев В.С. Газовые эмульсии.-Л.:Химия,1979-200 с.
- 2 Мархасин И.Л., Измайлова В.Н. и др. Очистка сточных вод от нефтепродуктов, жиров и белков (основы, технология) // Итоги науки и техники ВИНТИ. Том 20. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. М., 1988, с. 1-176.
- 3 Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник.- Л.: Химия, 1978.- 329 с.

## 4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИКЛАДНОЙ АНАЛИЗ

### РАВНОМЕРНЫЕ ТРАНСВЕРСАЛЬНО - ЗАМКНУТЫЕ СЛОЕНИЯ

В.С. Рубанов

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Для гладкого слоения на связном гладком многообразии определяется, естественным образом, вполне ограниченная равномерность; строится структурная алгебра трансверсального замыкания слоя слоения и ряд производных слоений.*

#### МНОГООБРАЗИЕ, СЛОЕНИЕ, РАССЛОЕНИЯ, РАВНОМЕРНОСТЬ

Рассматриваются гладкие слоения на связных гладких многообразиях. Пусть  $B(F)$  есть множество всех  $F$  - слоеных функций на многообразии  $M$  со слоением  $F$ , а  $V(M)$  - множество всех гладких векторных полей, определенных на открытых подмножествах из  $M$ . Рассмотрим семейство векторных полей  $\mathfrak{Z} \subset V(M)$ , на траекториях которых  $F$ -слоеные функции постоянны

$$\mathfrak{Z} = \{ X \in V(M) \mid Xf=0, \forall f \in B(F) \}.$$

Векторные поля из  $\mathfrak{Z}$  индуцируют на  $M$  гладкое  $\mathfrak{Z}$ -инвариантное распределение  $\bigcap_{f \in B(F)} \ker df$ , определяющее некоторое слоение (возможно с особенностями)  $F^*$  на  $M$ . Слои слоения  $F^*$  далее называются орбитами. Всякая орбита является трансверсальным замыканием некоторого слоя слоения  $F$ , а следовательно замкнута в  $M$ .

Множество всех орбит индуцирует, естественным образом, некоторую равномерность  $U$  на  $M$ . Легко проверяется, что эта равномерность будет вполне ограниченной, а соответствующая топология на  $M$  является тихоновской. Исследовалась связь между слоением  $F^*$  и канонически определяемой по  $F^*$  равномерностью  $U$ . Показано, что ограничения  $F^*$  на насы-

щенные окрестности являются регулярными слоениями. Для каждой орбиты определяется структурная алгебра, получаемая факторизацией алгебры Ли слоеных векторных полей по соответствующему идеалу. Показано, что структурная алгебра всякой орбиты лежит в центре алгебры Ли всех слоеных сечений соответствующего нормального векторного расслоения. В случае инвариантного слоения на однородном пространстве построенная структурная алгебра совпадает со структурной алгеброй Мальцева инвариантного слоения.

С использованием структурной алгебры трансверсального замыкания слоя, строится, стандартным образом, ряд производных слоений (возможно с особенностями).

#### Литература

1 Piatkowski A. A stability theorem for foliations with singularities. *Rospr. Mat.*, 1988, N267, 1-52.

2 Wolac R., Cordero L. Examples of foliations with foliated geometric structures. *Pacific J. Math.*, 1990, 142, N2, 265-276.

## С-СОПРЯЖЕННЫЕ ОПЕРАТОРЫ К ЛИНЕЙНЫМ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ОПЕРАТОРАМ

И. В. Пархимович

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Строятся в замкнутой форме S-сопряженные операторы к линейному интегро-дифференциальному оператору с интегрируемыми в квадратах параметрами и довольно общими двухточечными краевыми условиями.*

ОПЕРАТОР, СЕМЕЙСТВО ОПЕРАТОРОВ, С ИНТЕГРИРУЕМЫМ КВАДРАТОМ, СОПРЯЖЕННЫЙ

В гильбертовом пространстве  $H$  [1] соотношение  $(Tu, v) = (Su, v^*)$  ( $T$  и  $S$  - линейные операторы и  $D(T)=D(S)$ ), определяет либо  $S$ -сопряженный оператор  $T_S^* v = v^*$ , если область значений  $R(S)$  оператора  $S$  плотна в  $H$ ,

либо семейство  $S$ -сопряженных операторов  $\{T_s^* v\} = T_s^* v + \sum_{i=1}^d c_i w_i$ , где

$\sum_{i=1}^d c_i w_i$  — дефектное подпространство оператора  $S$ . Имеет место [1].

**Теорема.** Нулевое многообразие семейства  $S$ -сопряженных операторов  $\{T_s^*\}_s$  (или  $S$ -сопряженного оператора  $T_s^*$ ) совпадает с дефектным подпространством оператора  $T$ .

Построим  $S$ -сопряженный оператор к интегро-дифференциальному с двухточечными локально-интегро-дифференциальными условиями. При построении сопряженных операторов «исходным материалом» является формула Лагранжа, получаемая интегрированием по частям функционала

$\int_a^b A_n u dx$ , где  $A_n$  — интегро-дифференциальный оператор. При этом, поряд

док производной  $u^{(i)}$  понижается до функции  $u$ , а от выражений

$P_i v, \int_a^b K_i(y, x)v(y)dy$  берутся производные, что требует естественного огра

ничения гладкости на коэффициенты  $P_i$  и ядра  $K_i(y, x)$  по  $x$ .

Если же допустить, что у интегро-дифференциального оператора

$$A_n u = u^{(n)}(1) + \sum_{i=1}^n P_i(x)u^{(n-i)}(x) + \sum_{i=0}^n \int_a^b K_i(x, y)u^{(n-i)}(y)dy$$

с  $D(A_n) = L_2^n[a, b]$  - коэффициенты  $P_i$  и ядра  $K_i(y, x)$  с интегрируемым квадратом, то в прежнем виде получить формулу Лагранжа не представляется возможным.

Однако, если интегрировать по частям таким образом, чтобы порядок производной  $u^{(i)}$  повышался до  $u^{(n)}$ , и от выражений  $P_i v$  и

$\int_a^b K_i(y, x)v(y)dy$  брать интегралы, то получим для интегро-

дифференциального оператора  $A_n$  при любых  $u \in L_2^n[a, b]$  и любых  $v \in L_2(a, b)$  аналог формулы Лагранжа.

$$\int_a^b A_n u v dx = \sum_{i=1}^n u^{(n-i)}(b) Q_i[v] + \int_a^b u^{(n)} A_s^* v dx,$$

где  $Q_i[v] = \sum_{j=i}^n (-1)^{j-i} \int_a^b \frac{(b-t)^{j-1}}{(j-i)!} \left[ p_j(t)v(t) + \int_a^b K_j(y,t)v(y)dy \right] dt,$

$$A_{s_0}^* v = v(x) + \sum_{i=1}^n (-1)^i \int_a^x \frac{(x-t)^{i-1}}{(i-1)!} p_i(t)v(t)dt + \int_a^b \left[ K_0(y,x) + \sum_{i=1}^n (-1)^i \int_a^x \frac{(x-t)^{i-1}}{(i-1)!} K_i(y,t)dt \right] v(y)dy. \quad (1)$$

Функционально  $Q_i[v]$ , как легко видеть, линейно независимы на  $L_2[a, b]$ .

Из аналога формулы Лагранжа следует теорема.

**Теорема.** Пусть коэффициенты  $p_i$  и ядра  $K_i$  интегрально-дифференциального оператора

$$Au \begin{cases} A_n u = u^{(n)}(x) + \sum_{i=1}^n p_i(x) u^{(n-i)}(x) + \sum_{i=0}^n \int_a^b K_i(x,y) u^{(n-i)}(y) dy \\ u^{i-1}(b) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

с интегрируемым квадратом. Тогда интегральный оператор  $A_{s_0}^*(1)$  с областью определения  $D(A_{s_0}^*) = L_2[a, b]$  является  $S_0$ -сопряженным к  $A$ , где

$$S_0 u: \begin{cases} D^n u \\ u^{(i-1)}(b) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n). \end{cases}$$

Для построения  $S$ -сопряженного оператора к интегрально-дифференциальному оператору

$$A_{III}u: \begin{cases} A_n u = u^n(x) + \sum_{i=1}^n p_i(x) u^{(n-i)}(x) + \sum_{i=0}^n \int_a^b K_i(x,y) u^{(n-i)}(y) dy \\ R_k(u) = \sum_{i=1}^n \alpha_{ki} u^{(i-1)}(a) + \beta_{ki} u^{(i-1)}(b) + \sum_{i=1}^{n+1} (u^{(i-1)}, \varphi_{ki}) = 0, \\ (k = 1, 2, \dots, m). \end{cases}$$

с коэффициентами  $p_i$ , функциями  $\varphi_{ki}$  и ядрами  $K_j$  с интегрируемым квадратом применяется аналог формулы Лагранжа и метод последовательных сужений и расширений оператора на конечное число измерений [2,3]. В результате получаем S-сопряженный оператор

$$A_{3s}^* v: \begin{cases} v(x) + \sum_{i=1}^n (-1)^i \int_a^x \frac{(x-t)^{i-1}}{(i-1)!} p_i(t) v(t) dt + \\ + \int_a^b \left[ K_0(x,y) + \sum_{i=1}^n (-1)^i \int_a^x \frac{(x-t)^{i-1}}{(i-1)!} K_i(y,t) dt \right] v(y) dy - \\ - \sum_{k=l=1}^q \sum_{i=1}^n u_k^{n-1}(b) Q_i(v) w_k(x) + \sum_{k=l=1}^n \sum_{i=1}^n u_{n-m+d+q+k}(b) Q_i(v) x, \\ V_s v = \sum_{i=1}^n u_{q+s}^{(n-i)}(b) Q_i(v) = 0, (s = 1, 2, \dots, n - m + d). \end{cases}$$

В итоге, получаем семейство S-сопряженных операторов к оператору  $A_{III}$

$$\{A_{III} v\}_s^* = A_{3s}^* v + \sum_{k=1}^d c_k \varphi_k, \text{ где } \varphi_k \text{ --- составляющие преобразованных}$$

краевых условий оператора  $A_{III}$ .

### Литература

- 1 И. В. Пархимович. О построении S-сопряженных операторов к интегро-дифференциальным. ДУ, 8, №8, 1972.
- 2 Ю. К. Ландо. Об индексе и нормальной разрешимости интегро-дифференциальных операторов. ДУ, 4, №6, 1968.
- 3 Ю. К. Ландо. Краевые задачи для интегро - дифференциальных уравнений. Автореферат докторской диссертации. Минск, 1969.

## К МЕТОДУ СЕТОК ДЛЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ОБЫКНОВЕННЫХ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Б. А. Годунов

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассматривается алгоритм приближенного решения краевой задачи для обыкновенного линейного дифференциального уравнения второго порядка; изменения, внесенные в известную схему сведения исходной задачи к разностному аналогу, позволяют отыскивать решение методом последовательных приближений с оператором, обеспечивающим существенную простоту алгоритма, по сравнению с известными.*

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ, ПРИБЛИЖЕНИЯ, СЕТЬ, РАЗНОСТНЫЙ АНАЛОГ,  
КРАЕВАЯ ЗАДАЧА

Рассмотрим краевую задачу отыскания решения  $y(x)$  дифференциального уравнения

$$y'' + p(x)y' + q(x)y = f(x), \quad (x \in [a, b]), \quad (1)$$

удовлетворяющего граничным условиям

$$y(a) = A, \quad y(b) = B. \quad (2)$$

На отрезке  $[a, b]$  рассмотрим сеть с равноотстоящими узлами  $x_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ),  $x_0 = a$ ,  $x_n = b$ ,  $x_{i+1} - x_i = h$  для всех  $i$ . Решение задачи (1)...(2) на сети заключается в отыскании значений искомого решения ее в узлах сети, то есть  $y(x_i)$ . Будем считать, что задача (1)...(2) имеет единственное решение.

В [1] предлагается сведение этой задачи к разностному аналогу. При этом, погрешность аппроксимации имеет порядок  $h^4$ . Предлагаемый в [1] алгоритм отыскания  $y_i$ , близких к  $y(x_i)$ , требует достаточно сложных построений некоторой матрицы, не позволяющей применить метод последовательных приближений, и последующего решения системы линейных алгебраических уравнений относительно  $y_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) с этой матрицей.

В данной работе при сохранении общей схемы перехода к разностному аналогу предлагается вместо  $q(x)u$  писать  $0.5q(x_i)(y(x_{i+1}) + y(x_{i-1}))$ , а не  $q(x_i)y(x_i)$ , как в [1]. Тогда из равенства, аналогичного (6.6.19) [1], можно найти  $y(x_i)$

$$y(x_i) = c_{1i}y(x_{i-1}) + c_{2i}y(x_{i+1}) + c_{0i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n-1), \quad (3)$$

где 
$$c_{1i} = 0.25(2 - p(x_i)h + q(x_i)h^2), \quad c_{2i} = 0.25(2 + p(x_i)h + q(x_i)h^2),$$
  

$$c_{0i} = -0.5h^2 f(x_i).$$

Пусть, теперь  $y_0 = A$ ,  $y_n = B$ ,  $y_i$  — приближения к  $y(x_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ). Рассмотрим векторы  $Y = (A, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, B)$  и  $d = (-0.5h^2(0, f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_{n-1}), 0))$ , оператор  $C$ , заданный постоянной матрицей

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{11} & 0 & c_{21} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{12} & 0 & c_{22} & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & c_{1,n-2} & 0 & c_{2,n-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & c_{1,n-1} & 0 & c_{2,n-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Тогда система (3), относительно вектора  $Y$ , запишется в виде

$$Y = CY + b \quad (4)$$

Заметим, что матрица  $C$  устроена таким образом, что первая и последняя координаты векторов  $Y$  и  $CY$  совпадают, что позволяет определить последовательные приближения к решению задачи (1)...(2) на сети равенством

$$Y_{k+1} = CY_k + d, \quad (k = 0, 1, \dots), \quad (5)$$

где в качестве начального приближения следует выбрать вектор  $Y_0 = (A, y_{1,0}, y_{2,0}, \dots, y_{n-1,0}, B)$ , с некоторыми начальными приближениями

$y_{i0}$  к  $y(x_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ). Такой вид  $Y_0$  и матрицы  $C$  обеспечивают выполнение граничных условий у каждой итерации  $Y_k$ .

Далее заметим, что за счет выбора малого шага  $h$  числа  $c_{1i}$  и  $c_{2i}$ , при достаточно "хороших"  $p(x)$  и  $q(x)$  (например,  $|p(x)| \leq \alpha$ ,  $|q(x)| \leq \beta$ ,  $x \in [a, b]$ ), можно сделать меньше единицы.

Тогда верна

**Теорема.** Если  $h$  достаточно мало, то последовательные приближения (5) сходятся к решению системы (3), при любом начальном приближении вида  $Y_0 = (A, y_{10}, y_{20}, \dots, y_{n-1,0}, B)$ , и, тем самым, будут достаточно близки к решению задачи (1)...(2) на сети.

Отметим, что наложение условий на  $p(x)$  и  $q(x)$  позволяет эффективно выписать границы малости шага сети  $h$ .

Кроме того, вид матрицы  $C$  позволяет модифицировать метод (5), используя, для отыскания очередной координаты вектора  $Y_{k+1}$ , уже найденные с меньшим или большим индексом  $i$ , что ускоряет процесс сходимости.

#### Литература

1 Крылов В. И., Бобков В. В., Монастырский П. И. Вычислительные методы высшей математики. Т. 2, Мн.: Выш. шк. 1975.

## СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ ПЕРВОГО УРАВНЕНИЯ ПЕНЛЕВЕ ( $P_1$ )

Н. П. Зизелюк

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Получено двухпараметрическое семейство решений первого уравнения Пенлеве с некоторыми начальными условиями.*

УРАВНЕНИЕ, ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ, ПЕНЛЕВЕ

$$\text{Для } P_1 \quad w'' = 6w^2 + z, \quad (1)$$

в действительной области, построим двухпараметрическое семейство решений, обладающих некоторым свойством (8). Рассмотрим уравнение

$$v''^2 = 4v'^3 + 2zv' - 2v. \quad (2)$$

Общие решения уравнений (1) и (2) удовлетворяют уравнению связи

$$w'^2 = 4w^3 + 2zw - 2v \quad (3)$$

где

$$w \equiv v'. \quad (4)$$

Общее решение уравнения (1) имеет вид:

$$w = \frac{1}{(z-z_0)^2} - \frac{z_0}{10}(z-z_0)^2 - \frac{1}{6}(z-z_0)^3 + h(z-z_0)^4 + \dots, \quad (5)$$

где  $z_0$  и  $h$  — const.

Для уравнения (3) общее решение

$$v = -\frac{1}{z-z_0} + 14h - \frac{z_0}{30}(z-z_0)^3 - \frac{1}{24}(z-z_0)^4 + \frac{h}{5}(z-z_0)^5 + \dots \quad (6)$$

Сравнив (5) и (6), положим

$$v = b(z-z_0)w \quad (7)$$

где  $b$  — const.

Тогда (7) и  $v' = b(w + (z-z_0)w')$ ;  $v'' = b(2w' + (z-z_0)(6w^2 + z))$  удовлетворяют уравнению (2)

$$b^2(2w' + (z-z_0)(6w^2 + z))^2 = 4b^3(w + (z-z_0)w')^3 + 2zb(w + (z-z_0)w') - 2b(z-z_0)w;$$

Из последнего уравнения, используя (3) и (7), получим

$$\begin{aligned} & w'[4b(z-z_0)(6w^2 + z) - 12b^2(z-z_0)w^2 - \\ & - 4b^2(z-z_0)^3(4w^3 + 2zw - 2b(z-z_0)w) - 2z(z-z_0)] = \\ & = 2z_0w + 4b^2(w^3 + 3w(z-z_0)^2(4w^3 + 2zw - 2b(z-z_0)w)) - \\ & - b(16w^3 + 8zw - 8b(z-z_0)w) - b(z-z_0)^2(6w^2 + z)^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Подставив (8) и (7) в (3), получим искомое двухпараметрическое семейство решений уравнения  $P_1$ .

### Литература

1 В. В. Голубев. Лекции по аналитической теории дифференциальных уравнений. М. Л. 1950.

## ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА

М. П. Сидоревич, И. М. Сидоревич

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Указано групповое свойство решений некоторых специальных нелинейных уравнений четвертого порядка и метод отыскания общего интеграла этих уравнений.*

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ, УРАВНЕНИЯ, РЕШЕНИЕ, ГРУППОВЫЕ, СВОЙСТВА

Рассмотрим дифференциальное уравнение

$$2u''' + 24uu'' + 13u'^2 + 98u^2u' + 49u^4 = 0. \quad (1)$$

Если (1) [1] имеет полярное решение

$$u(z) = \frac{\alpha_{-1}}{z - z_0} + \sum_{n=0}^{\infty} a_n (z - z_0)^n,$$

то вычет полюса  $z_0$  равен:  $\alpha_{-1} = 1; \frac{3}{7}; \frac{4}{7}$ . Положим в (1)  $xu = vx'$ , где  $v$  — некоторое действительное число, получим

$$\begin{aligned} 2x^2x^{(IV)} + 8(3v-1)x^2x'x''' + (13v-6)x^2x''^2 + \\ + 2(7v-3)(7v-4)xx'^2x'' + (v-1)(7v-3)(7v-4)x'^4 = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Отсюда при  $v=1$  будем иметь уравнение

$$2x^2x^{(IV)} + 16xx'x''' + 7xx''^2 + 24x'^2x'' = 0. \quad (3)$$

Если  $\nu = 3/7$ , то (2) есть уравнение вида

$$14x^2x^{(IV)} + 16x'x''' - 3x''^2 = 0, \quad (4)$$

а при  $\nu = 4/7$  — уравнение

$$7x^2x^{(IV)} + 20x'x''' + 5x''^2 = 0. \quad (5)$$

Покажем, что уравнения (2)...(4) можно преобразовать друг в друга с помощью подстановки  $x = w^k$ ,  $w \neq 0$ ,  $k \in \mathbb{R}$ . Действительно, эта подстановка переведет (3) в уравнение

$$2w^3w^{(IV)} + 8(3k-1)w^2w'w''' + (13k-6)w^2w''^2 + 2(7k-3)(7k-4)ww'^2w'' + (k-1)(7k-3)(7k-4)w'^4 = 0. \quad (6)$$

Теперь, очевидно, что, при  $k = 3/7$ , из (6) получим относительно  $w$  уравнение (4), а при  $k = 4/7$  — уравнение (5).

Пусть далее в (4),  $x = w^k$ , тогда приходим к уравнению

$$14w^3w^{(IV)} + 8(9k-7)w^2w''w''' + 3(13k-14)w^2w''^2 + 42(k-1)(3k-4)ww'^2w'' + 3(k-1)(3k-4)(3k-7)w'^4 = 0, \quad (7)$$

откуда, при  $k = 7/3$  и  $k = 4/3$ , получаем уравнения (3) и (5), соответственно.

Наконец, приняв в (5)  $x = w^k$ , будем иметь

$$7w^3w^{(IV)} + 4(12k-7)w^2w'w''' + (26k-21)w^2w''^2 + 28(k-1)(4k-3)ww'^2w'' + 2(k-1)(4k-3)(4k-7)w'^4 = 0. \quad (8)$$

Ясно, что из (8) уравнения (3) и (4) получаются, соответственно, при  $k = 7/4; 3/4$ .

Таким образом, доказано следующее:

**Теорема 1.** Преобразование  $T: (z, x) \rightarrow (z, w^k)$ , где  $k$  определяется соответствующим элементом матрицы

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3/7 & 4/7 \\ 7/3 & 1 & 4/3 \\ 7/4 & 3/4 & 1 \end{bmatrix},$$

переводит уравнения (3)...(5) друг в друга.

Заметим следующее: уравнение (2), при указанных выше значениях  $\nu$ , инвариантно относительно преобразования  $T$ . Кроме того, преобразование [1,2]

$$T^*: (z, u) \rightarrow \left( \frac{az + b}{cz + d}; \frac{u}{(cz + d)^2} + \frac{c}{cz + d} \right)$$

оставляет неизменным уравнение (1). Значит, если функция  $\varphi(u)$  есть частное решение уравнения (1), то его общее решение имеет вид

$$u(z) = \frac{\varphi(t)}{(cz + d)^2} + \frac{c}{cz + d}, \quad t = \frac{az + b}{cz + d}. \quad (9)$$

Таким образом, справедлива

**Теорема 2.** Соотношение  $\nu x'' = u(z)x$ , где  $u(z)$  определяется (9), есть общий интеграл уравнения (2).

В заключение отметим очевидный факт: при  $k = 0$  уравнения (6)...(8) совпадают с уравнением

$$x^3 x^{(IV)} - 4x^2 x' x''' - 3x^2 x''^2 + 12x x' x'' - 6x'^4 = 0.$$

#### Литература

1 Сидоревич М. П. Дифференциальные уравнения третьего порядка, разрешимые в классических трансцендентных функциях. Дис. ... канд. ф.-м. н. Брест, 1988.

2 Chazy J. // Acta Math., 1911, №34., P. 317-385.

## О ДОСТОВЕРНОСТИ КЛАССОВ СИГНАТУРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЯМИ МИНИМАЛЬНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ

Л. П. Махнист

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Получены точные аналитические выражения числа необнаруживаемых ошибок максимальной длины фиксированной кратности сигнатурным анализатором, порождаемым полиномом, который является образующим полиномом примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки, в зависимости от четной или нечетной степени порождающего полинома; найдены точные границы (верхние и нижние) достоверности указанных выше сигнатурных анализаторов и соответствующие кратности, при которых они достигаются; найдены классы сигнатурных анализаторов, имеющие такие же характеристики, как и сигнатурные анализаторы, порождаемые полиномами, являющимися образующими примитивных БЧХ-кодов, исправляющих две ошибки.*

### СИГНАТУРНЫЙ, АНАЛИЗ, ПОЛИНОМ, КОРРЕКТИРУЮЩИЕ, КОДЫ

Одним из способов повышения достоверности сигнатурного анализа является способ, основанный на применении нескольких сигнатурных анализаторов, реализованных с помощью примитивных и непримитивных полиномов, имеющих одинаковую степень.

В качестве меры оценки достоверности сигнатурного анализа, будем рассматривать распределение вероятностей необнаружения ошибки в зависимости от веса  $k$  последовательностей данных, которое определяется следующим образом:  $P_n(k) = A_n(k) / C_n^k$ , где  $A_n(k)$  - количество необнаруживаемых определенным методом сжатия ошибочных последовательностей длины  $n$ , содержащих ошибки веса  $k$ ,  $k$  общему числу последовательностей -  $C_n^k$  (число сочетаний из  $n$  по  $k$ ) [1, 3].

В работе приведены результаты анализа достоверности классов сигнатурных анализаторов, порождаемых полиномами - образующими примитивных БЧХ-кодов, исправляющих две ошибки; исследован класс сигнатурных анализаторов, имеющий такие же характеристики, как и некоторые

сигнатурные анализаторы, порождаемые полиномами - образующими примитивных БЧХ-кодов, исправляющих две ошибки.

Для сигнатурного анализатора, порождаемого полиномами нечетной степени, являющегося образующим БЧХ-кода, исправляющего две ошибки, найдены точные формулы числа двоичных последовательностей длины  $n=2^m-1$  веса  $k$ , инициирующих нулевую сигнатуру для фиксированного сигнатурного анализатора, порождаемого полиномом степени  $2m$  ( $m$  - четно) - образующего примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки; получено распределение величин  $P_n(k)$  и найдена точная верхняя граница достоверности указанного выше сигнатурного анализатора.

**Утверждение 1.** Максимальное значение вероятности необнаружения ошибочной последовательности длины  $n=2^m-1$  сигнатурным анализатором, порождаемым полиномом степени  $2m$  ( $m$  - нечетно) - образующим примитивного кода БЧХ, исправляющего две ошибки, определяется выражением  $\max P_n(k)=(n-7)/((n-2)(n-3)(n-4))$ , и достигается при  $k=5, 6, n-6, n-5$ .

Также найдена и нижняя граница достоверности для соответствующего сигнатурного анализатора.

Рассмотрим класс сигнатурных анализаторов, обладающий такими же характеристиками, как и сигнатурный анализатор, порождаемый полиномом степени  $2m$  ( $m$  - нечетно) - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки.

**Утверждение 2.** Пусть  $M_1$  - примитивный полином нечетной степени  $m=2t+1$  над полем  $GF(2)$ , а элемент  $b$  поля  $GF(2^m)$  - некоторый его корень [2]. образуем множество минимальных многочленов  $M_i$  элементов  $b^i$ , где  $i=2^{l+1}, 1 \leq i \leq t$ , а числа  $m$  и  $i$  - взаимно просты. Построим множество сигнатурных анализаторов  $G_i$ , порождаемых произведениями примитивного полинома  $M_1$  и некоторого минимального многочлена  $M_i$ . Тогда предельная оценка  $P_i$  вероятности необнаружения ошибочной последовательности сигнатурным анализатором  $G_i$  не зависит от  $i$  и определяется соотношением  $P_i=(n-7)/((n-2)(n-3)(n-4))$ .

**Пример 1.** Пусть  $m=9, t=4, M_1=x^9+x^5+1$  - примитивный полином. Тогда  $i$  может принимать значения 1, 2, 4 и множество минимальных многочленов  $M_i$  состоит из многочленов  $M_3=x^9+x^6+x^5+x^3+1, M_5=x^9+x^5+x^4+x+1, M_{17}=x^9+x^8+x^6+x^5+x^3+x^2+1$ . Тогда сигнатурные анализаторы  $G_3, G_5, G_{17}$ , порождаемые полиномами  $M_1M_3, M_1M_5, M_1M_{17}$ , соответственно, имеют од-

ну и ту же предельную оценку вероятности необнаружения ошибочной последовательности.

В работе исследуется достоверность сигнатурного анализатора, порождаемого полиномом степени  $2m$  ( $m$  - четно) - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки. В этом случае, порождающий полином является произведением примитивного на, в общем случае, непримитивный полином, степени которых равны некоторому четному числу  $m$ .

**Утверждение 3.** Максимальное значение вероятности необнаружения ошибочной последовательности длины  $n=2^m-1$  сигнатурным анализатором, порождаемым полиномом степени  $2m$  ( $m$  - четно) - образующим примитивного кода БЧХ, исправляющего две ошибки, определяется выражением  $\max P_n(k) = (n-3)/((n-1)(n-2)(n-4))$ , и достигается при  $k=5, 6, n-6, n-5$ .

Для данного сигнатурного анализатора также определена нижняя граница достоверности, найдены точные формулы числа двоичных последовательностей длины  $n=2^m-1$  веса  $k$ , иницирующих нулевую сигнатуру для фиксированного сигнатурного анализатора, порождаемого полиномом степени  $2m$  ( $m$  - четно) - образующего примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки, а также распределение величин  $P_n(k)$ .

Рассмотрим класс сигнатурных анализаторов, обладающий такими же характеристиками, как и сигнатурный анализатор, порождаемый полиномом степени  $2m$  ( $m$  - четно) - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки.

**Утверждение 4.** Пусть  $M_1$  - примитивный полином четной степени  $m$  над полем  $GF(2)$ , а элемент  $b$  поля  $GF(2^m)$  - некоторый его корень [2]. Образует множество минимальных многочленов  $M_l$  элементов  $b^l$ , где  $l=2^i+1$ ,  $1 \leq i < m/2$ , а числа  $m$  и  $i$  - взаимно просты. Построим множество сигнатурных анализаторов  $G_l$ , порождаемых произведениями примитивного полинома  $M_1$  и некоторого минимального многочлена  $M_l$ . Тогда предельная оценка  $P_l$  вероятности необнаружения ошибочной последовательности сигнатурным анализатором  $G_l$  не зависит от  $l$  и определяется соотношением  $P_l = (n-3)/((n-1)(n-2)(n-4))$ .

**Пример 2.** Пусть  $m=14$ ,  $M_1 = x^{14} + x^{12} + x^{11} + x + 1$  - примитивный полином, и числа  $i$  и  $m$  взаимно просты. Тогда  $i$  может принимать значения 1, 3, 5 и множество минимальных многочленов  $M_l$  состоит из многочленов  $M_3 = x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^9 + x^5 + x + 1$ ,  $M_9 = x^{14} + x^{11} + x^9 + x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$  и  $M_{33} = x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^9 + x^5 + x^2 + x + 1$ . Тогда сигнатурные анализаторы  $G_3$ ,

$G_9, G_{33}$ , порождаемые полиномами  $M_1M_3, M_1M_9, M_1M_{33}$ , соответственно, имеют одну и ту же предельную оценку вероятности необнаружения ошибочной последовательности. Заметим, что сигнатурный анализатор  $G_3$ , порождается полиномом  $M_1M_3$ , который является образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего две ошибки. Поэтому, для него, очевидно, выполняется утверждение 4.

**Замечание.** Следует отметить, что в качестве минимального многочлена  $M_1$  можно взять в точности  $\varphi(2^m-1)$  примитивных полиномов. Тогда количество сигнатурных анализаторов, обладающих одной и той же оценкой достоверности, определяется соотношением  $\varphi(2^m-1)\varphi(m, (m-1)/2)$ , если  $m$  - нечетно, и  $\varphi(2^m-1)\varphi(m, m/2)$ , если  $m$  - четно, где  $\varphi(i,j)$  - количество чисел, не превосходящих  $\min(i,j)$  и взаимно простых с  $i$ .

#### Литература

- 1 Берлекэмп Э. Алгебраическая теория кодирования: Пер. с англ. - М.: Мир, 1971. - 477с.
- 2 Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля. Т. 1, 2: Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 824с.
- 3 Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки: Пер. с англ. - М.: Связь, 1979. - 744с.
- 4 Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки: Пер. с англ. - М.: Мир, 1976. - 594с.

### ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТИПА СВЕРТКИ С ЯДРАМИ, ЗАВИСЯЩИМИ ОТ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ

Т.А. Тузик

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Указан способ решения трёх интегральных уравнений с ядрами, зависящими от линейной функции.*

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ, УРАВНЕНИЕ, СВЁРТКА, КРАЕВАЯ, ФУРЬЕ

Рассматривается обобщение [1] парного уравнения первого рода

$$\begin{cases} \frac{a}{\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(t)dt}{x - \alpha t} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} k_1(x - \alpha t)f(t)dt = g(x), & x > 0, \\ \frac{b}{\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(t)dt}{x - \beta t} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} k_2(x - \beta t)f(t)dt = g(x), & x < 0. \end{cases} \quad (1)$$

где  $a, b$  – комплексные постоянные,  $\alpha, \beta$  – вещественные числа,  $k_i(x) \in L_1(-\infty, \infty)$  ( $i = 1, 2$ );  $f(x), g(x) \in L_2(-\infty, \infty)$ .

Уравнение (1) преобразованием Фурье сводится к равносильной краевой задаче

$$\Phi^+\left(\frac{\alpha}{\beta}t\right) = \frac{b \operatorname{sgn} \frac{\alpha}{\beta}t + K_2\left(\frac{\alpha}{\beta}t\right)}{a \operatorname{sgn} t + K_1(t)} \Phi^-(t) + \frac{b \operatorname{sgn} \frac{\alpha}{\beta}t + K_2\left(\frac{\alpha}{\beta}t\right)}{a \operatorname{sgn} t + K_1(t)} G(t) - G\left(\frac{\alpha}{\beta}t\right). \quad (2)$$

Если  $a/b < 0$ , задача (2) односторонняя, как показано в [2], она может иметь бесчисленное множество линейно независимых решений. При  $a/b > 0$  уравнение (2) есть задача Газемана, которая сводится к задаче Римана с разрывными коэффициентами при  $t=0$ . Выписываем решение этой задачи, используя метод сведения её к краевой задаче Римана с непрерывными коэффициентами [3], указываем число решений, условия разрешимости.

Затем, применив обратное преобразование Фурье к выражению

$$F(\alpha t) = \frac{G(t) + \Phi^-(t)}{a \operatorname{sgn} t + K_1(t)},$$

получаем решение исходного уравнения (1).

Аналогичные рассуждения возникают при решении уравнения

$$\frac{a}{\pi i} \int_{-\infty}^0 \frac{f(t)dt}{x - \alpha t} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 k_1(x - \alpha t)f(t)dt + \frac{b}{\pi i} \int_0^{\infty} \frac{f(t)dt}{x - \beta t} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} k_2(x - \beta t)f(t)dt = g(x), \quad -\infty < x < \infty,$$

в котором свойства чисел  $a, b, \alpha, \beta$  и заданных функций те же, что и выше. Решение ищется в пространстве  $L_2(-\infty, \infty)$ .

Интегральное уравнение вида

$$\frac{1}{\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(t)dt}{x - \alpha t} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} k(x + \alpha t)f(t)dt = g(x), \quad -\infty < x < \infty$$

имеет единственное решение, если  $K(t)K(-t) \neq -1$ , определяемое формулой

$$f(x) = \frac{|a|}{\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(t)dt}{t - x \alpha} + \frac{|a|}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} m_1(x\alpha - t)g(t)dt + \frac{|a|}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} m_2(x\alpha + t)g(t)dt,$$

где

$$m_1(x) = V^{-1} \left( -\frac{K(t)K(-t)}{1 + K(t)K(-t)} \right) (x); \quad m_2(x) = V^{-1} \left( \frac{K(t)}{1 + K(t)K(-t)} \right) (x).$$

#### Литература

- 1 Гахов Ф.Д., Черский Ю.И. Уравнения типа свертки. — М. Наука, 1978, — 296 с.
- 2 Литвинчук Г.С. Краевые задачи и сингулярные интегральные уравнения со сдвигом. — М. Наука, 1977, — 448 с.
- 3 Гахов Ф.Д. Краевые задачи. — М. Наука, 1977, — 640 с.

## 5 ХИМИЯ, ЭКОЛОГО - ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИМЕР-МЕТАЛЛ

З.К. Зинович, Ю.М. Левданский

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В работе рассматривается влияние процесса подготовки поверхности алюминия на адгезионную прочность соединения полимер-металл; особое внимание уделяется возможности химической модификации поверхности металла и его влиянию на адгезионную прочность соединения полимер-металл.*

ОБЕЗЖИРИВАНИЕ, КИСЛОТНОЕ, ПРОТРАВЛИВАНИЕ, ЩЕЛОЧНОЕ  
ПРОТРАВЛИВАНИЕ, АДГЕЗИЯ

В производственных условиях, под воздействием внешних факторов на поверхности металла образуются различные виды загрязнений, поступающие непосредственно из окружающей среды, а также возникающие на поверхности металла в результате его взаимодействия с газами. Удаление загрязнений и подготовка поверхности к склеиванию осуществляется физическими и химическими способами или путем их комбинирования, что позволяет получить наилучшие результаты.

Загрязнения удаляют до появления на поверхности сорбционных слоев, состоящих из полярных и неполярных молекул. Часто сорбционные слои с известным составом создаются специально в ходе производственного процесса (наносятся на металл: грунтовки, мастики и т.п.) [1].

Для физической очистки поверхностей используется промывка эмульгирующими средствами, либо растворение загрязнений в жидких органических растворителях. Безусловно, даже самое тщательное ведение процесса не в состоянии убрать с металлов все хемосорбционные вещества [2].

Обезжиривание, проводимое как перед подготовительной операцией к склеиванию, так и непосредственно перед склеиванием, должно, прежде всего, снизить влияние адсорбированных веществ.

В результате проведенных нами работ, исследованы методы обработки поверхностей, выполняемые в технологических процессах в качестве подготовительных операций, с точки зрения их влияния на адгезионные свойства поверхностей при склеивании. Результаты исследований приведены на рисунке 1.

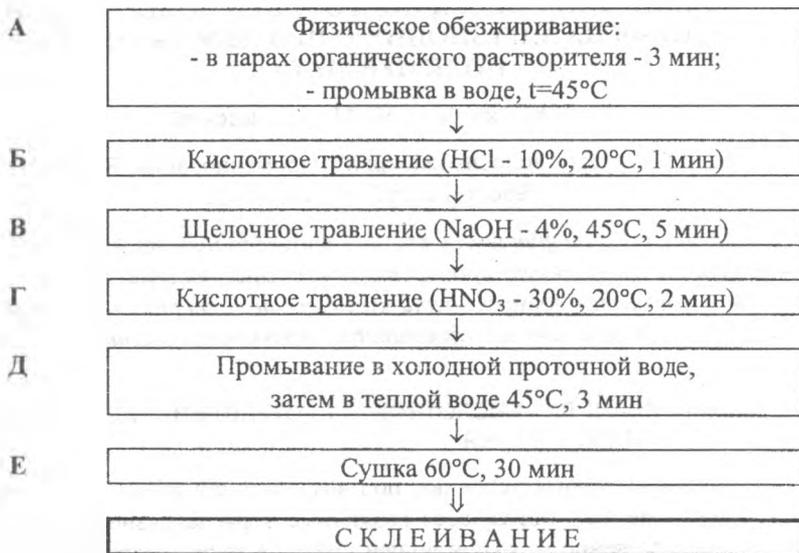


Рисунок 1 Процесс подготовки поверхностей сплавов для склеивания.

Химическое обезжиривание, по своей сути, объединяет процессы: химической очистки поверхности, основанный на удалении жировых загрязнений и протравливания верхних слоев материала. Протравливание сопровождается превращением оксидов и чистого металла в растворимые соли, которые переходят в раствор, при этом одновременно формируется обрабатываемая поверхность.

Кислотное протравливание подходит для сравнительной оценки в связи с формированием поверхности, особенно благоприятной, для адгезии.

Щелочное протравливание, используемое в виде заключительной обработки поверхности перед склеиванием, требует выполнения нескольких операций: обезжиривания, активирования поверхности в 30%  $\text{HNO}_3$ , основного протравливания и, безусловно, межоперационной и заключительной промывки [3].

Как показывает эксперимент, с увеличением температуры осушающего воздуха, время просушивания значительно сокращается, что выгодно с экономической точки зрения. С другой стороны, при температуре выше  $65^{\circ}\text{C}$ , на поверхности металла могут появиться оксидные соединения, уменьшающие силу связей. Именно такое, явление типично для сплавов Al, для которых определено, что, из-за подобных явлений, нельзя использовать для сушки температуру выше  $65^{\circ}\text{C}$ .

Процесс кислотного протравливания гарантирует получение высоких результатов адгезионной прочности. Согласно Брокману [5], кислотное протравливание, в отличие от других методов протравливания, придает поверхности сотовую структуру. Другие авторы [6], утверждают, что, при этом, появляется тонкая пленка оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (толщиной около 50 Е), с выступающими "усиками", имеющими высоту до 400 Е, что и увеличивает адгезию. По мере протравливания, структура поверхности становится более "хрупкой", характеризуется более мелкими сотами, что и приводит к максимальной адгезии [4].

Проведенные испытания показали, что, разработанная нами, методика подготовки поверхности алюминия для склеивания модифицированным эпоксидным клеем ЭД-20 дает высокий эффект. Так, образцы подготовленные по нашим методикам имели прочность на раздир  $35...40 \text{ Н/см}^2$ , а по известным и описанным методикам -  $17...20 \text{ Н/см}^2$ .

Таким образом, обезжиривание, вместе с процессами протравливания действием кислот, либо щелочных электролитов, дают возможность получать поверхности с характеристиками, благоприятствующими высокой адгезии. После снятия жировых и оксидных слоев с поверхности металла, можно получить не только физически более однородную, но и специфически сформированную структуру, которая положительным образом влияет на адгезионные способности поверхностей в соединении полимер - металл.

#### Литература

- 1 Minford J. Dean: Adhesives Age, 1993, nr 3, s.17.
- 2 Грилихес С.Ю.: Полирование, травление и обезжиривание металлов. - М.: Машиностроение, 1971
- 3 Kaliske G.: Schweisstechnik, 1996, v.26, nr 9, s. 155.
- 4 Лейтание М.Я.: Механика композитных материалов, 1979, №1, с.156.
- 5 Brockmann W.: Adhesives Age, 1993, v.20, nr7, s.30.
- 6 Venables J.D., Mc Namara D.K., Chen J.M., Sun T.S.: Appl. Surface Sci, 1989, v.3, nr 1, s. 88.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПИРОЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

В.А. Халецкий, З.К. Зинович

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены особенности процессов пиролиза различных типов полимеров, влияние строения макромолекулярной цепи на скорость реакции и состав продуктов термического разложения; обоснована целесообразность использования пиролиза в качестве метода утилизации как индивидуальных отходов полимеров так и их смесей.*

ПИРОЛИЗ ПОЛИМЕРОВ, РЕГЕНЕРАЦИЯ МОНОМЕРОВ, ПОЛИОЛЕФИНЫ, ПОЛИВИНИЛХЛОРИД, ПОЛИАМИДЫ

Пиролиз является одним из наиболее широко используемых методов термического обезвреживания полимерных отходов. Это обусловлено относительной простотой технологического оформления данного метода, низкими требованиями к исходному сырью и большой потребительской ценностью получаемого продукта.

Технология проведения пиролиза хорошо разработана и включает в себя следующие стадии: сбор полимерных отходов, отделение примесей и загрязнений, разделение полимеров по типам и, непосредственно, высокотемпературное разложение. Причем, существуют различные способы проведения последней стадии: пиролиз неподвижного слоя, периодически загружаемых отходов, пиролиз во вращающихся печах, пиролиз в псевдоожиженном слое и др. [1...3].

Существует три направления использования пиролиза как метода утилизации полимерных отходов:

1) Пиролиз полимеров с целью получения исходных мономеров (к таким полимерам относятся полиметилметакрилат, политетрафторэтилен, поли- $\alpha$ -метилстирол и др.);

2) Пиролиз полимеров, с целью получения топлива (к таким полимерам относятся полиолефины, эластомеры и др., а также смеси полимеров);

3) Пиролиз полимеров, с целью получения специфических продуктов (из продуктов пиролиза полиэтилена - ПЭ получают низкомолекулярные воски, жирные кислоты и спирты, алкилсульфонаты и т.д., из продуктов пиролиза поливинилхлорида - ПВХ - соляную кислоту и соединения ароматического

ряда, из продуктов поливинилацетата - ПВА и поливинилового спирта - ПВС - высокоактивный углерод и т.д.).

При пиролизе полимеров происходят все типы химических реакций, различающихся механизмом акта химического превращения: гомолитические, гетеролитические, молекулярные и окислительно-восстановительные. Наиболее распространенными являются радикальные гомолитические реакции. Термическая деструкция (пиролиз) как карбоцепных, так и гетероцепных органических полимеров обусловлена, как правило, радикальными реакциями отрыва, замещения, диссоциации. Пиролиз гетероцепных полимеров, во многих случаях, связан с гетеролитическими реакциями (гидролиз, алкоголиз, ацидолиз, аминолиз, перэтерификация). В полимерах, содержащих атомы металлов переменной валентности, важную роль играют окислительно-восстановительные реакции. При определенных условиях, реакции различных химических типов могут протекать в одном и том же полимере, одновременно [4].

Представляет интерес подробнее рассмотреть особенности пиролиза отдельных полимеров:

**1) Пиролиз гомоцепных полимеров.** Протекает, преимущественно, по радикально - цепному механизму, который можно представить в виде совокупности трех основных кинетических стадий - инициирование, продолжение и обрыв цепи. На стадии инициирования происходит образование свободных радикалов. Инициирование может происходить по закону случая, с разрывом макромолекулы с одинаковой вероятностью в любом звене; возможно и инициирование по концевой группе, когда происходит ее отрыв с образованием радикалов. Однако, самую важную роль в инициировании деструкции играют "слабые" и "примесные" связи, в частности, связи в местах расположения структурных дефектов макромолекулы. Стадия продолжения цепи также может осуществляться различными способами: путем последовательного отщепления мономерных звеньев, приводящего к деполимеризации (так называемый "зип"), путем межмолекулярного переноса неспаренного электрона или путем внутримолекулярного переноса неспаренного электрона. Скорость реакции определяется прочностью связи C—H. Наиболее легко разрывается связь у третичного атома углерода. Для обрыва цепи существует несколько возможных механизмов: линейный обрыв ( $\cdot R_n \rightarrow P_n$ ); квадратичный обрыв - диспропорционирование ( $\cdot R_r + \cdot R_s \rightarrow R_r + R_s$ ); квадратичный обрыв - рекомбинация ( $\cdot R_r + \cdot R_s \rightarrow P_{r+s}$ ). В присутствии кислорода или мономера, происходит ускорение рекомбинации в

результате передачи цепи через низкомолекулярное вещество по эстафетному механизму [4].

*Пиролиз полиолефинов.* Протекает, преимущественно, по свободно-радикальному механизму. Инициирование, путем разрыва связи, является единственным источником образования свободных радикалов, в случае линейного полимера, не содержащего примесей (полиметилена), однако, большинство полимеров содержат примеси, которые либо включены в основную цепь макромолекулы, либо находятся в виде боковых групп, случайно расположенных вдоль цепи. Эти группы и образуют слабые связи, по которым происходит разрыв.

Продолжение цепи происходит в результате различных реакций, причем, их преобладание определяется строением макромолекулы и условиями протекания реакции. Так, при невысоких температурах, последовательное отщепление мономерных звеньев не характерно для полиэтилена (выход мономера составляет всего 0,03%). Для ПЭ, в этих условиях, определяющими являются межмолекулярная и внутримолекулярная передачи цепи. У полипропилена (ПП) и полиизобутилена, в связи с наличием в цепи третичных и четвертичных атомов углерода, соответственно, углерод-углеродные связи менее прочны, чем у полиэтилена. Поэтому, выход мономера, при пиролизе этих полимеров, повышается до 0,17% у ПП и 18,10% - у полиизобутилена. Обрыв цепи происходит в результате диспропорционирования и рекомбинации.

Существует возможность протекания пиролиза и не по свободно-радикальному механизму. При этом, предполагается, что большая часть разрывов углерод-углеродных связей вызывается напряжениями, возникающими в полимерных цепях за счет теплового движения. Эти разрывы сопровождаются в свою очередь внутримолекулярным переносом атома водорода к месту разрыва. При таком типе разрывов, свободные радикалы, а значит и мономер, не образуются [5].

Какова же практическая возможность практического применения процессов пиролиза для утилизации отходов полиолефинов? Разложение полиэтилена начинается с заметной скоростью при 360°C. В интервале температур 450...525°C продуктами разложения ПЭ являются только 1-алкены и n-алканы. С повышением температуры, увеличивается содержание алкенов (при 525°C и 6 мин деструкции соотношение n-алканов и 1-алкенов достигает почти 1:1,5), большую часть продуктов составляют фракции C<sub>17</sub> - C<sub>25</sub> (наиболее ценное сырье в органическом синтезе). При более высоких тем-

пературах (650...850°C), состав продуктов существенно меняется. Пиролиз ПЭ при 740°C приводит к образованию этилена (25,5%), метана (16,2%), бензола (12,2%), высших алифатических и ароматических соединений (17,3%) и др. При 820°C, выход бензола и этилена достигает максимума, постепенно повышается доля метана, а содержание фракции C<sub>4</sub> - C<sub>6</sub> - понижается [2,3,6].

Состав продуктов пиролиза полиэтилена и полипропилена близок, однако, разложение ПП протекает быстрее, что обусловлено более низкой энергией активации процесса: 230 кДж/моль для ПП и 302 кДж/моль - для ПЭ. Характерным для пиролиза полиолефинов является образование большого количества жидких и газообразных продуктов при незначительном выходе углерода. При постепенном нагревании и непрерывном удалении из реакционной зоны летучих продуктов, полиолефины полностью разлагаются без образования карбонизированного остатка [6].

При каталитическом пиролизе полиолефинов (никелевый катализатор и присутствие небольшого количества водорода, температура 400 - 450°C, давление 6,7 кПа), продуктом является смесь газолена и керосина с довольно большим выходом (при использовании ПЭНД -92,5%, ПЭВД - 95,6%, ПП - 91,4%).

Важной особенностью пиролиза полиэтилена является возможность получения полиэтиленовых восков различных типов с молекулярной массой 300...4500 и температурой плавления 80...120°C. Эти продукты, с высоким выходом, образуются при температуре пиролиза до 500°C. Процессу получения восков, на практике, сопутствует несколько стадий: дозировка отходов ПЭ в экструдер, расплавление и подача в термодеструктор, непосредственно деструкция отходов, охлаждение продукта в теплообменнике, отделение легколетучих побочных продуктов, фильтрование и усреднение готового продукта в расплаве, выгрузка образовавшихся восков. Полученные продукты используются для пропитки бумаги, картона и тканей, входят в состав лыжных мазей, печатных красок и др. [6].

*Пиролиз полистирола и его производных.* Реакция пиролиза полистирола протекает, преимущественно, по свободно-радикальному механизму. Однако, возможно расщепление макромолекулы полистирола с переносом водорода.

Пиролиз полистирола интенсивно протекает уже при 320°C. При этом, образуется стирол (62%), его димеры, тримеры и тетрамеры. При пиролизе при 500°C, помимо стирола, его димеров, три- и тетрамеров, образуется

бензол (1,5%), толуол, ксилол. Нелетучие, при нормальной температуре, фракции составляют не более 40%. Выход мономера - 45...70%, в зависимости от условий процесса. В результате каталитического пиролиза отходов полистирола в кипящем слое, количество мономера может превышать 85% [2,6].

При пиролизе полимера при 800...1200°C происходит разложение продуктов пиролиза на более мелкие осколки. Выход мономера, при этом, уменьшается, увеличивается количество бензола, появляются, во все возрастающих количествах, водород, метан, этан, ацетилен [5].

Поли- $\alpha$ -метилстирол по структуре отличается от полистирола только тем, что в  $\alpha$ -положении, по отношению к фенильной группе, у него, вместо атома водорода, находится метильная группа:

Однако, это оказывает существенное влияние на термические свойства указанных полимеров. В случае пиролиза поли- $\alpha$ -метилстирола при температуре ниже 500°C, перенос водорода от места разрыва цепей полностью исключен из-за наличия в  $\alpha$ -положении фенильных и метильных групп. При этом, возможно протекание термической деструкции только по радикальному механизму. Образующиеся макрорадикалы распадаются с образованием мономера. Так, если при пиролизе полистирола в интервале температур 200...500°C образуется не более 75% мономера, то в процессе пиролиза поли- $\alpha$ -метилстирола - выход мономера составляет 95...100% [5].

Пиролиз полидивинилстирола и политривинилстирола не сопровождается выделением мономеров, а приводит к крекингу полимеров.

Другое возможное направление пиролиза (кроме получения мономера) полистирольных отходов заключается в их совместной переработке с нефтяным коксом на коксоперерабатывающих предприятиях. Добавление отходов, практически, не требует изменения технологии и не влияет на свойства получаемого продукта [6].

*Пиролиз поливинилхлорида.* Поливинилхлорид имеет небольшую термическую стабильность по сравнению с другими полимерами. Пиролиз его протекает в две стадии: сначала происходит интенсивное дегидрохлорирование при 250...300°C, после чего, наступает период стабилизации процесса термической деструкции. Потери массы составляют, при этом, около 60%. Вторая стадия соответствует разложению углеводородной части макромолекулы и начинается выше 400°C. Остаток после пиролиза ПВХ, при 425°C, содержит вещества со средней молекулярной массой 700...800. Газообразные продукты пиролиза представляют сложную смесь насыщенных и нена-

сыщенных углеводородов (этилен, этан, пропилен, пропан, бутен, бутан, пентадиен, пентен, пентан, гексадиен, гексен, гексан, толуол, гептадиен, гептен, стирол, ксилол, октадиен, пропенилбензол, пропиленбензол, этиленхлорид и др.) [5,6].

2) *Пиролиз гетероцепных полимеров.* Одной из особенностей распада большинства гетероцепных (как правило, поликонденсационных) полимеров, является трудность отщепления мономера, в то время как, при термическом разложении гомоцепных полимеров, отщепление мономера от макрорадикала происходит легко.

При пиролизе поликонденсационных полимеров образуются значительные количества циклических продуктов, в том числе, и летучих. Замыкание отщепляемого линейного фрагмента макроцепи, с образованием ковалентной связи в значительной мере компенсирует энергетические затраты, связанные с разрывом макромолекулы.

*Пиролиз полиэтилентерефталата и полибутилентерефталата.* Механизм пиролиза полиэтилентерефталата (ПЭТФ) изучен плохо, предполагается, что разрушение полимера начинается с разрыва слабых С-О связей. Значительно лучше исследованы продукты пиролиза. При 288°C, основным газообразным продуктом пиролиза является уксусный альдегид (80,0 мол.%), также образуются моно- и диоксид углерода, вода, метан, этан, бензол, 2-метилдиоксолан. Также, в составе газообразных продуктов в незначительных количествах обнаружены низшие олигомеры, содержащие ненасыщенный эфир; нафталин и т.д. [5]. Отмечается возможность образования терефталевой кислоты [7].

Пиролиз полибутилентерефталата имеет ряд специфических особенностей. В температурном интервале 250...280°C единственным газообразным продуктом является бутилен.

Предполагается двустадийный механизм термического распада. На стадии инициирования, происходит образование циклического переходного состояния в произвольном месте цепи с последующим ее разрывом. Затем, от образовавшейся концевой группы отщепляется бутилен. Побочными реакциями пиролиз ПБТФ не осложнен [4].

3) *Пиролиз смесей полимеров.* Разделение полимерных отходов на индивидуальные компоненты сопряжено с большими трудностями, поэтому, большой интерес представляют технологии пиролиза смесей полимеров.

Японской фирмой Mitsubishi разработана технология совместного пиролиза разных типов полимеров. Пиролиз осуществляют в несколько стадий [6]: измельчение и сушка полимерных отходов; плавление и прогрев при

температуре 300°C (при наличии в отходах поливинилхлорида, происходит его дегидрохлорирование, почти весь хлор, при этом, удаляется в виде хлористого водорода, который, поглощаясь водой, переходит в соляную кислоту); термическое разложение полимеров. Последняя стадия - перемещение продукта в емкости для разложения, состоящей из двух частей: крекинг - зоны и конденсирующей зоны. В первой из них, поддерживается температура 400...500°C, и непосредственно протекает пиролиз отходов. Во второй зоне, улавливаются высококипящие, неполностью разложившиеся олигомеры, и возвращаются в крекинг - зону. Получаемые в результате пиролиза жидкие и газообразные продукты, используются в качестве энергоносителей. Использование процессов пиролиза, наряду с материальным и химическим рециклингом пластмасс, позволяет не только значительно снизить остроту проблемы утилизации полимерных отходов, но и получить значительную экономию материальных ресурсов.

#### Литература

- 1 Bledzki A., Goracy K. - Polimery, 1992, No.6, s.241.
- 2 Коноваленко Н.Г., Мясников Г.Д. - Пласт. массы, 1977, No.11, с.3.
- 3 Пийроя Э.К., Никитина Н.П. - Пласт. массы, 1991, No.2, с.37.
- 4 Гладышев Г.П., Ершов Ю.А., Шустова О.А. Стабилизация термостойких полимеров. - М.:Химия, 1979.-272с.
- 5 Мадорский С. Термическое разложение органических полимеров: Пер. с англ. - М.:Мир, 1967.-326с.
- 6 Быстров Г.А., Гальперин В.М., Титов Б.П., Обезвреживание и утилизация отходов в производстве пластмасс. Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1982.-264с.
- 7 Санитарно-химический анализ пластмасс. Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1977.-272с.

### **РОЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОПРОСА В АКТИВИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА ХИМИИ**

**А.Л. Гулевич, Л.А. Подолец**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассматриваются особенности организации учебного процесса в высшей школе, предлагаются методики активизации самостоятельной рабо-*

*ты студентов, анализируются методы текущего контроля, роль индивидуального опроса при изучении избранных разделов общей химии.*

МЕТОДИКА, ПРЕПОДАВАНИЕ, ХИМИЯ, ПРОГРАММИРОВАННЫЙ, КОНТРОЛЬ, АКТИВИЗАЦИЯ, САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА, СТУДЕНТЫ

Одной из важных проблем реформы высшей школы, является такая постановка учебно-воспитательного процесса в вузе, которая обеспечивает глубокие и прочные знания основ наук и, вместе с тем, воспитывает у студентов умение совершенствовать методики познания, развивает творческую инициативу и самостоятельность. Поэтому, в настоящее время растет внимание к разнообразным видам самостоятельной работы студентов на занятии и, в связи с этим, - к потребности овладения методами и приемами учебной работы.

Увеличение доли самостоятельного познания в процессе обучения, большая самостоятельность студентов при овладении знаниями, дают возможность преподавателю значительно повысить эффективность процесса обучения и активизировать позицию студента в учебном процессе.

На занятиях по химии мы применяем различные формы самостоятельного познания: письменные индивидуальные задания, работу с учебной и справочной литературой, схемами, таблицами, лабораторные работы и др. Интенсификация самостоятельной работы по изучению химии затруднена, так как студенты первого курса по уровню школьной подготовки и интересам значительно отличаются. Поэтому, начиная с первого занятия, стараемся выявить слабоподготовленных по химии студентов. Для этого всем студентам выдается индивидуальная домашняя работа по теме: "Основные классы неорганических соединений". Задание включает четыре вопроса:

- 1) Получите оксиды металлов и неметаллов. Укажите какие нормальные соли из них могут быть получены. Дайте названия солей;
- 2) Приведите реакции взаимодействия основных и кислотных оксидов с водой. Укажите основность кислоты и кислотность основания;
- 3) Приведите диссоциацию амфотерных оксидов по кислотному и основному типу;
- 4) Получите средние, кислые и основные соли, используя кислоту и металл.

Каждый вариант имеет свои определенные данные. Все ответы заносятся в специальную таблицу. Большинство студентов не справляется с решением четвертого вопроса; не могут привести все варианты кислых и основных солей и нуждаются в консультации.

Проверка знаний осуществляется индивидуально, путем опроса студентов. Это позволяет с первых дней занятий, при изучении курса химии, осуществлять индивидуальный подход к оценке знаний студентов.

На основании многолетнего опыта, мы пришли к выводу, что устный опрос студентов в начале занятия проводить нецелесообразно, так как это приводит к нерациональной трате времени и невозможности выяснения глубины понимания материала всеми студентами.

Поэтому, готовность студента к занятию выявляем в начале лабораторной работы, с помощью программированного контроля.

По каждой теме курса химии: классы неорганических веществ, эквиваленты, термодинамика, кинетика, комплексные соединения и т.д., составляем индивидуальные задания с учетом уровня подготовки (облегченные задания - для менее подготовленных студентов и более сложные - для студентов более подготовленных).

Особого внимания заслуживает применение в учебном процессе собеседования преподавателя со студентом, после выполнения каждой лабораторной работы. При этом, студенты выясняют сущность изучаемых явлений на основе анализа наблюдаемых фактов, систематизируют и переосмысливают изучаемый материал.

Перед началом лабораторного занятия, студенты работают с методическими указаниями по комплексной организации самостоятельной работы, содержащими вопросы для самопроверки, список литературы по данной теме, указание по методике решения соответствующих задач, набор индивидуальных заданий. При подготовке к занятию, каждый студент изучает теоретический материал, разбирает решения типовых задач (решает самостоятельно 3...4 задачи), проверяет знания по вопросам, которые выдаются заранее по каждой теме.

Например, по теме: "Электролиз" студентам выдаются вопросы:

- 1) Что такое электролиз?
- 2) Что называется катодом и анодом? Как они заряжены при электролизе?
- 3) От каких факторов зависит очередность разряда катионов и анионов на электродах?
- 4) Какие процессы протекают на электродах при электролизе раствора  $\text{AgNO}_3$  (если анод серебряный; если анод угольный?).
- 5) Через раствор  $\text{AgNO}_3$  пропускают ток силой 2А в течение 45 мин (какое вещество и в каком количестве выделится на катоде?).

б) Через раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  пропускали ток в течение 2 часов в результате чего выделилось 2 литра кислорода, измеренного при н.у. (вычислить силу тока).

После индивидуального выполнения лабораторных опытов студенты оформляют работу в журнале и в результате индивидуального опроса получают зачет. При собеседовании, преподаватель располагает большими возможностями вовлечения студентов в дискуссию, с целью обоснования своей позиции, защиты своей точки зрения.

При собеседовании преподаватель знакомится с уровнем подготовленности, способностями, индивидуальными особенностями каждого студента, что дает возможность в дальнейшем вести обучение дифференцированно. Такой подход к обучению стимулирует активную деятельность студентов.

При опросе, студентам предлагаются карточки с индивидуальными заданиями.

По завершении изучения курса химии проводится анкетирование студентов, с целью выявления наиболее эффективного вида самостоятельной работы.

Около 80 % опрошенных студентов считает, что индивидуальный поэтапный опрос студентов при изучении курса химии больше других методов контроля знаний способствует получению устойчивых знаний по предмету, в целом.

## **ОТРАЖЕНИЕ ПРОБЛЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ: ЧЕЛОВЕК- ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА В ПРОГРАММЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ КУРСОВ**

**В.А. Халецкий\*, А.Ч. Гурло\*\***

\*Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ

Брест, Республика Беларусь

\*\*Химический факультет, БГУ

Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются основные недостатки существующей школьной программы по химии. Предлагается программа специальных курсов в которых особое внимание уделяется взаимодействию человека и окружающей среды.*

## ХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ХИМИИ

Предмет химии является одним из основных в курсе естественных наук, преподаваемых в средней школе. Именно на уроках химии, должно происходить формирование научного мировоззрения и экологического мышления ученика. Однако, существующая на сегодняшний день программа обучения химии обладает рядом существенных недостатков:

Во-первых, программа оказывается перегружена фактическим материалом. Вместо того, чтобы содействовать формированию аналитического мышления, которое так необходимо в химии, школьнику предлагается для запоминания ряд разрозненных фактов. В результате этого, у школьника не возникает целостной системы химических знаний, а сама химия представляется набором несистематизированных сведений.

Во-вторых, курс химии носит сугубо теоретический характер. В нем не оказалось места для сведений, необходимых в повседневной жизни (данные о лекарственных препаратах, средствах гигиены, пищевых добавках и т.д.). Это приводит к тому, что химия воспринимается как наука, оторванная от реальной жизни, а, следовательно, и внимание на нее уделяется минимальное.

В-третьих, в программе практически полностью отсутствуют сведения по химической экологии. Изучив школьный курс химии, учащийся не узнает о механизме разрушения озонового слоя и образовании фотохимического смога, не поймет какой ущерб наносят кислотные дожди и парниковый эффект, разливы нефти и нефтепродуктов, а, самое главное, - не осознает глобального характера разразившегося экологического кризиса. Ни разу не упоминаются техногенные катастрофы в Бхопале, Севезо или бывшем СССР, нет ни слова о попытках ООН международными усилиями решить проблемы окружающей среды.

В-четвертых, в школьной программе, практически полностью, отсутствуют данные о современной химии: о новейших научных открытиях и об актуальных проблемах. У учащегося может создаться впечатление, что последними открытиями в химии были теория строения органических соединений Бутлерова и кольцевая формула бензола Кекуле. Ни словом не упоминаются новые конструкционные материалы на основе полимерных композитов, проблема высокотемпературной сверхпроводимости, открытие фуллеренов, революционные достижения биохимии и генной инженерии.

В-пятых, полностью отсутствует информация о развитии химической промышленности и состоянии химической науки в Беларуси. Это, тем более

удивительно, что наша страна имеет огромный потенциал в данной области. Для школьника так и останутся неизвестными достижения белорусских ученых в области очистки воды (полимерные мембраны и ионообменные материалы), регулирования роста растений (брасиностероиды) и др., что, в конечном итоге, ведет к потере потенциальных научных кадров в республике.

Каким же образом можно преодолеть эти недостатки? Прежде всего, необходимо изменить сам подход к составлению школьной программы. В основе должно лежать не стремление вложить в учащегося максимум фактов, а формирование у него элементарной экологической грамотности, способности ориентироваться в быстроизменяющемся окружающем мире.

На первом этапе, на наш взгляд, возможным способом решения этой проблемы является создание специальных курсов, в дополнение к основному курсу химии (как базовому, так и углубленному). Например, создана и апробирована программа специального курса по проблемам взаимодействия человека с окружающим миром. Программа курса состоит из нескольких разделов, в которых рассмотрены основные проблемы экологии, возможные способы их решения:

- глобальные экологические проблемы;
- химия и продовольственная проблема;
- химия в повседневной жизни.

Разработанная нами программа не универсальна, но на наш взгляд, она позволяет дать школьнику информацию об окружающем его мире с химической точки зрения, показывает значительную роль химии во всех сферах человеческой деятельности, снабжает знаниями, которые носят не абстрактный характер, но которые необходимы в повседневной жизни. А самое главное, мы надеемся, что данная программа вызывает интерес к изучению химии как предмета, и это очень важно, поскольку говоря словами Томаса Альвы Эдисона: "Главная задача цивилизации - научить человека мыслить".

## **О ПЕРИОДЕ ИНДУКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ (ОБЗОР)**

**А.И. Никитюк**

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В обзоре рассматриваются современные представления о периоде индукции окисления полиолефинов с позиции особенностей их морфологиче-*

*ской и структурно-физической организации, влиянии различных факторов на величину периода индукции.*

ПОЛИОЛЕФИНЫ: ПОЛИЭТИЛЕН, ПОЛИПРОПИЛЕН, ПОЛИ-4-МЕТИЛПЕНТЕН-1

Окисление твердых полимеров является цепным вырожденно - разветвленным процессом, анализ кинетических данных которого (получены с помощью ИК - спектроскопии) позволяет выделить три макростадии: период индукции, стадию автоокисления и стадию, характеризующуюся постоянной скоростью поглощения кислорода. Кинетические закономерности и химизм окисления в жидкой и твердой фазах подобны, что дало основание описать механизм твердофазного окисления той же схемой, которая принята для жидкофазного окисления [1]. Нами анализируются современные представления о первичной стадии окислительного процесса - периоде индукции.

Окисление, в период индукции, связано с прямым взаимодействием кислорода с полимерной макромолекулой. В реакции лимитирующей является микродиффузионная стадия (т.е. трансляционное перемещение растворенного кислорода до встречи с макрорадикалами); последующее присоединение  $O_2$  к макрорадикалу в клетке (кинетическая стадия) происходит быстро. В связи с этим, важное значение имеет вопрос о растворимости кислорода в полимерных образцах. На этот процесс существенно влияют особенности структурно-физической и морфологической организации полиолефинов [2].

Так, в полиэтилене (ПЭ) и изотактическом полипропилене (ИПП) окислительные процессы локализованы, главным образом, в аморфной фазе. И если в ПЭ, при обычных условиях, кристаллические области непроницаемы и недоступны для кислорода (доказательства этого обобщены в [1]), то алкильные макрорадикалы, генерированные  $\gamma$ -радиолизом в кристаллах полипропилена (ПП) полностью превращаются в перекисные. Это означает, что кристаллы ПП проницаемы для  $O_2$ , однако, растворимость его в кристаллической фазе, по меньшей мере, на порядок меньше, чем в аморфной. Кристаллические области поли-4-метилпентена-1 (ПМП) также более устойчивы к окислению, чем аморфные. Заметное увеличение числа крупных дефектов структуры ( $\sim 200A^3$ ) в аморфной фазе полимера начинается при  $120^\circ C$ , а образование и накопление мелких дефектов ( $\sim 30A^3$ ) в кристаллической фазе начинается при более высоких температурах ( $\sim 140-150^\circ C$ ) [1].

Кристаллы также подвергаются окислению и совершенство их структуры нарушается. Частичное разрушение и аморфизация кристаллов, проис-

ходящие на более глубоких стадиях окисления, можно рассматривать как гетерогенный процесс движения фронта окисления от поверхности в объем кристалла. Интересно отметить, что окисление кристаллов происходит даже быстрее, чем окисление аморфной фазы. Причиной этого является то, что, несмотря на более медленное инициирование окисления в кристаллах, по сравнению с аморфной фазой, стационарная скорость окисления кристаллов выше, чем в аморфной фазе из-за того, что в кристаллах мала константа скорости квадратичного обрыва кинетических цепей и, как следствие, увеличена и длина цепи, и стационарная скорость окисления [1].

Диффузия кислорода в полиолефинах подчиняется законам полихронной кинетики, что обусловлено структурно-физической микронеоднородностью полимерного материала, как твердого тела. Эффективная энергия активации диффузии  $O_2$  в кристаллическом полиэтилене высокой плотности (ПЭВП), по данным [3], составляет  $\sim 130$  кДж/ моль. Активация этого процесса сопровождается локальным уменьшением плотности, в результате чего между полимерными цепями размещаются молекулы  $O_2$ .

Количество поглощенного в период индукции кислорода, по данным различных авторов, составляет 0,003-0,009 моль/кг полимера [4] и 0,07 моль/кг [5]. Продолжительность начального этапа - начиная с момента установления температуры до поглощения 0,008-0,01 моль  $O_2$  на 1 кг полимера - составляет  $\sim 6000$ с.

Сравнение кинетических кривых поглощения кислорода изотропными образцами полиолефинов показывает, что по реакционной способности их можно расположить в следующий ряд: ПЭВП < ПЭНП (полиэтилен низкой плотности) < ПМП < ПП. В этом ряду уменьшается величина периода индукции окисления  $\tau$  и растет скорость окисления на участке кинетической кривой поглощения  $O_2$  до 1 моль/кг [6].

Продуктом взаимодействия кислорода с полимерной макромолекулой является гидроперекись, однако (и это особенно важно), образующаяся гидроперекись не обладает способностью инициировать процесс на данной стадии. Так, в [4] показано, что окисление в период индукции не связано с реакцией ООН-групп.

Величина периода индукции  $\tau$ , которая может служить характеристикой скорости процесса окисления, связана с особенностями морфологической организации полимера, предысторией и способом приготовления образцов. Именно предыстория, во многом, определяет широкий разброс значений  $\tau$  у полиолефинов. Так, повышение жесткости полимерной матрицы, снижение

сегментальной подвижности и увеличение содержания в аморфной фазе не-реакционноспособных регулярных конформеров макроцепи, затрудняет диффузию низкомолекулярных радикалов (переносчики свободной валентности) и снижает скорость эстафетной передачи кинетических цепей. Все это способствует локализации окислительных процессов в очагах, причем степень локализации различна для изотропных и ориентированных пленок.

В ориентированных образцах снижение сегментальной подвижности и усиление конформационных запретов приводит к увеличению периода индукции. Так, в ориентированных ПП и ПМП по сравнению с изотропными образцами величина периода индукции возрастает в 8 и 7 раз, соответственно [6]. Возможными причинами изменения кинетики поглощения  $O_2$  ориентированными полиолефинами являются: изменение соотношения кинетических констант скоростей отдельных стадий окисления; уменьшение растворимости и коэффициента диффузии кислорода; изменения в характере локализации процесса окисления в полимере, вследствие структурных перестроек, вызванных ориентационной вытяжкой. Однако, какая-либо из этих отдельно взятых причин, не может, в полной мере, объяснить наблюдаемое увеличение периода индукции. Так, в ориентированном ПП, полученное уменьшение растворимости  $O_2$ , может привести к увеличению периода индукции в 2,4 раза, в то время как, наблюдается его восьмикратное увеличение [6].

Отжиг, при низких температурах ( $150^\circ C$ ), облегчает транспорт низкомолекулярных радикалов по матрице и снижает степень локализации реакции. При высокотемпературном отжиге ( $163^\circ C$ ), диффузионное перемещение радикалов дополнительно облегчается, в результате образования слоистых структур. Все это приводит к значительному уменьшению величины периода индукции [5].

На величину  $\tau$ , существенное влияние оказывают внешние условия. Так, с повышением температуры, продолжительность периода индукции сокращается, поскольку уменьшается время, необходимое для накопления достаточного количества гидроперекисей. Дополнительное введение в полимер гидроперекиси, перед началом окисления, также уменьшает  $\tau$ . Влияние давления кислорода  $P(O_2)$  на величину  $\tau$  наблюдается лишь при величинах ниже 150...200 мм.рт.ст. Для таких давлений, величина, обратная периоду индукции  $1/\tau$  и пропорциональная средней скорости начальной стадии реакции, прямо пропорциональна давлению ( $\tau \cdot P_0 = \text{const}$ ) [7]. Дальнейшее повышение давления мало сказывается на изменение величины  $\tau$ .

Для объяснения наблюдаемых в период индукции закономерностей окисления полиолефинов, в [8] высказывается мнение о предсуществовании в полимере первичных очагов инициирования, скорость образования радикалов в которых высока. Важное значение имеет вопрос о природе таких очагов. Их разобшенность в пространстве (масштаб - миллиметры) и ограниченное число в образце дают основание полагать [8], что, в данном случае, речь идет о посторонних включениях микроскопических размеров, катализирующих реакции первичного инициирования (например, об остатках катализаторов полимеризации или продуктов их превращения).

Суммарный объем всех очагов составляет незначительную долю от объема всего образца полимерного материала. Так, в [9] показано, что при расходе 1 моля  $O_2$  на 1 моль реакционно способных пропиленовых звеньев при окислении атактического полипропилена (АПП) принимает участие только 44% полимерного вещества, несмотря на кажущуюся гомогенность расплава. Неучастие значительной части полимерного вещества в окислительном процессе характерно и для других полиолефинов.

Окончание периода индукции и переход к стадии автоускорения (к этому времени полимер уже частично окислен) связано, во-первых, с выходом реакции из очагов первичного инициирования в окружающий объем полимера и, во-вторых, - со сменой механизма инициирования: первичное инициирование сменяется инициированием гидроперекисью. Локализация окислительных процессов на начальном этапе в немногочисленных, по сравнению с числом аморфных прослоек статистически (или иным образом) распределенных по матрице очагах, содержащих частицы катализатора, сменяется этапом развития реакции и ее автоускорения в матрице при распаде гидроперекиси, образовавшейся в результате диффузии низкомолекулярных радикалов, проникших в матрицу из очагов. Экспериментально окончание периода индукции обнаруживается по резкому увеличению расхода реагентов. К примеру, скорость поглощения кислорода образцом, значительно возрастает [7].

Таким образом, период индукции характеризуется взаимодействием кислорода с полимерной молекулой, с образованием гидроперекисей (одиночных или блочных), которые, однако, не являются инициаторами процесса на данной стадии. Процесс окисления временно локализован в очагах первичного инициирования на каталитических примесях. Наличие периода индукции связано с локализацией не только актов первичного инициирования, но и структурной локализацией окислительной реакции в очагах первичного инициирования. Степень локализации определяет величину

периода индукции, в значительной мере зависящую от морфологии, предыстории и способа приготовления полимерных образцов, а также от внешних условий. В большинстве случаев, изменений молекулярной массы и физико-механических свойств полимеров в течение периода индукции не происходит.

### Литература

- 1 Эмануэль Н.М., Бучаченко А.Л. Химическая физика молекулярного разрушения и стабилизации полимеров. - М.: Наука, 1988. - 367с.
- 2 Бартенев Г.М., Френкель С.Я. Физика полимеров. - Л.: Химия, 1990. - 432с.
- 3 Максимов В.Л., Агнивцева Т.Г. // Высокомолекул. соед. Б. 1987. т.29. N12. с.920
- 4 Михеев Ю.А., Гусева Л.Н., Заиков Г.Е. // Высокомолекул. соед. Б. 1997. т.39. N6. с.1082.
- 5 Ливанова Н.М. // Высокомолекул. соед. А. 1994. т.36. N1. с.39.
- 6 Шибряева Л.С., Кирюшкин С.Г., Заиков Г.Е. // Высокомолекул. соед. А. 1989. т. 31. N5. с.1098.
- 7 Старение и стабилизация полимеров. Под ред Неймана М.Б. - М.: Наука, 1964. - 331с.
- 8 Ливанова Н.М., Рапопорт Н.Я., Заиков Г.Е. // Высокомолекул. соед. А. 1988. т.30. N8. с.1640.
- 9 Монахова Т.В., Богаевская Т.А., Шляпников Ю.А. // Высокомолекул. соед. А. 1989. т.31. N3. с.636.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ ГИПОТЕТИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЫ 4,4-ДИМЕТИЛ-1,3-ДИТИАНА

Н.М. Голуб

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Квантово-химическим методом рассчитано геометрическое и орбитальное строение гипотетической молекулы 4,4-диметил-1,3-дитиана.*

ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ, ОРБИТАЛЬ, КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАССЧЕТЫ, ВЗМО, 1,3-ДИТИАН

В настоящее время, соединения класса ацеталей находят широкое практическое применение в качестве промежуточных продуктов в получении сенсibilизаторов, душистых веществ, цианиновых красителей [1]. Возможно их использование в качестве растворителей, пластификаторов, катализаторов [2]. Замещенные 1,3 - диоксациклоалканы могут быть использованы в производстве полиуретановых материалов с улучшенными качествами [3,4], в синтезе биологически активных соединений [5], в качестве термостабилизирующих добавок к поливинилхлоридным смолам [6]. Высокая склонность циклических ортоэфиров к гидролизу позволяет использовать их в качестве компонентов гидравлических жидкостей [7], а полимерные материалы, включающие ортоэфирную функцию, могут применяться в фармацевтической промышленности как инертные носители биологически активного препарата [8,9].

В силу очевидных причин, исследование структуры и свойств интермедиа тов сложно - катализируемых реакций экспериментальными методами затруднено, а в ряде случаев - невозможно.

Весьма перспективным методом изучения строения таких интермедиа тов является "компьютерный эксперимент", с использованием квантово-химических методов [10]. В настоящее время, все большее внимание уделяется такому теоретическому изучению органических реакций. Однако, возможности современной вычислительной техники пока не позволяют рассчитывать достаточно точные характеристики сложных реагирующих систем. Поэтому, на первый план выходит изучение индивидуальных молекул, их электронной и орбитальной структуры, по характерным признакам которой объясняется и предсказывается реакционная способность. Сравнивая ряды подобных соединений и сопоставляя данные по реакционной способности с особенностью пространственного и орбитального строения, можно, в некоторых случаях, не только интерпретировать, но и предсказывать определенные химические свойства молекул.

Подробные исследования серусодержащих аналогов 1,3-диоксациклоалканов, до настоящего времени, не проводились. В то же время, 1,3-дитиоциклоалканы являются ближайшими аналогами 1,3-диоксациклоалканов, имеют аналогичное пространственное строение, но в значительной степени отличаются в плане реакционной способности.

Введение двух метильных групп в 4-ое положение молекулы 1,3-диоксана приводит к искажению геометрии цикла по сравнению с незамещенным 1,3-диоксаном. Результаты расчетов показали, что, по сравнению с 1,3-диоксаном в 4,4-диметил-1,3-диоксане, связи O(1)-C(2), C(2)-O(3), C(5)-

C(6) и C(6)-O(1) укорачиваются на 0,006...0,007 А, а связи O(3)-C(4) и C(4)-C(5) - удлиняются на 0,009...0,021 А. Уменьшение торсионных углов C(2)-O(3)-C(4)-C(5) и O(3)-C(4)-C(5)-C(6) на 3...4 град. и искажение валентных углов (в пределах 1...2 град.) приводит к уплощению алифатической части цикла.

Аналогичные изменения в геометрии цикла характерны и для 4,4-диметил-1,3-дигидро-2H-1,2,4-оксадиазина. Связи S(1)-C(2), C(6)-S(1) укорачиваются на 0,002...0,004 А. Связи S(3)-C(4), C(4)-C(5), C(5)-C(6), C(2)-S(3) удлиняются на 0,016...0,006 А. Валентные углы изменяются на 2...3 град., и торсионные углы C(2)-S(3)-C(4)-C(5), S(3)-C(4)-C(5)-C(6) уменьшаются на 4...5°, вследствие чего алифатическая часть молекулы, как и в случае 4,4-диметил-1,3-диоксана, уплощается.

Можно предположить, что, поскольку расположение заместителя в 4-замещенном-1,3-диоксане таково, что его влияние на ближайший атом кислорода (как через пространство, так и через связи) должно проявляться в большей степени, чем на удаленный, и к тому же заместитель вводится не в плоскость симметрии молекулы, то, в этом случае, воздействие заместителя на орбитальную структуру более существенно, чем для симметричных 1,3-диоксанов.

Введение аксиальной метильной группы в четвертое положение должно оказывать более существенное влияние на энергию и структуру ВЗМО, так как по типу симметрии ВЗМО совпадает с плоскостью расположения аксиального заместителя, кроме того, воздействие может осуществляться и через связь, как и в случае 4-метил-1,3-диоксана. При этом, введение геминальных заместителей в четвертое положение искажает конформацию диоксанового цикла, что не может не отразиться на орбитальной структуре 4,4-диметил-1,3-диоксана.

Полученные в результате расчетов данные, показали, что в 4,4-замещенных 1,3-дигетероциклогексанах происходит перераспределение вкладов АО гетероатомов в ВЗМО, а в 4,4-диметил-1,3-дигидро-2H-1,2,4-оксадиазине ВЗМО имеет симметрию А". Замена аксиального атома водорода на метильную группу в 4-ом положении 4-метил-1,3-диоксана существенного влияния на орбитальную структуру цикла практически не оказывает. Энергия В1, по сравнению с 1,3-диоксаном, практически не изменяется. Эта орбиталь, в основном, образована разрыхляющей комбинацией  $p_y$ - и  $p_z$ - орбиталей атомов кислорода. Достаточно большой вклад вносят в нее  $p_z$ - орбитали атомов углерода. Энергия ВЗМО почти не повышается. Она состоит из связывающей комбинации  $p_y$ - орбиталей атомов кислорода, значительный вклад в

нее вносят  $p_y$ -орбитали атомов углеродов. Изменение строения и состава орбиталей В1 и ВЗМО для 4,4-диметил-1,3-диоксана выражается в локализации электронной плотности на алифатической части молекулы. Коэффициенты при АО атомов кислорода становятся различными. Орбиталь атома О(3) входит в ВЗМО с несколько большим коэффициентом, чем орбиталь атома О(1). Разница в энергиях ВЗМО для незамещенного диоксана и 4,4-диметил-1,3-диоксана составляет 0,195, тогда как для 4-метил-1,3-диоксана она составляет только 0,112.

Незначительное расщепление энергии орбиталей В1 и ВЗМО для 4,4-диметил-1,3-диоксана, вероятно, можно объяснить искажением диоксанового цикла и, следовательно, ослаблением воздействия через пространство на энергию орбитали ВЗМО.

Расчеты, для аналогично замещенной молекулы дитиана, показали, что замена  $H_{акс}$  на метильную группу при С(4), искажающая симметрию цикла 1,3-дитиана, в значительной степени влияет на энергию орбиталей В1 и ВЗМО.

Таблица 1 Энергия молекулярных орбиталей 4,4-диметил-1,3-диоксана и 4,4-диметил-1,3-дитиана

Соединение	В1, эВ	ВЗМО, эВ	$\Delta E$ , эВ
1,3-диоксан	-11.376	-10.939	0.44
4,4-метил-1,3-диоксан	-11.306	-10.801	0.51
1,3-дитиан	-10.280	-10.266	0.01
4,4-метил-1,3-дитиан	-13.375	-13.540	0.16

Поэтому, наблюдается повышение энергии как орбитали В1 (на 3,55 эВ), так и орбитали ВЗМО (на 3,27 эВ), по сравнению с незамещенным 1,3-дитианом. Однако, значение  $\Delta E$  невелико, т.к. дополнительное воздействие на орбиталь ближайшего к заместителю атома кислорода, оказываемое аксиальной метильной группой, как и в случае 2,2-диметил-1,3-дитиана, компенсируется воздействием метильной группы, расположенной в экваториальном положении. На орбитали дальнего от заместителя атома О(1) воздействия практически не оказываются.

Большую разницу в изменении энергии орбиталей для 4,4-дизамещенных диоксанов и дитианов можно объяснить различным типом взаимодействия орбиталей атомов кислорода и серы с аксиальным протоном. Для 1,3-диоксанов, в которых ВЗМО имеет тип симметрии  $A'$ , более характерно электростатическое взаимодействие, а для 1,3-дитианов, в кото-

рых атомы серы имеют более объемную структуру, взаимодействие, очевидно, проходит по орбитальному типу. Коэффициенты атомных орбиталей, при атомах серы, становятся более различными. При этом, перераспределение доли энергии орбитали атома S(3) более заметно, чем для 4-метил-1,3-дителиана.

Таким образом, тенденции в изменении энергии и орбитального строения в 4- и 4,4-замещенных гетероциклах аналогичны изменениям, наблюдаемым в 2- и 2,2 - замещенных, но выражены в меньшей степени.

#### Литература

1 Межеричкий В.В., Олехнович Е.П., Дорофеенко Г.Н. // Успехи химии.- 1973.- 42.- С.896.

2 Межеричкий В.В., Олехнович Е.П., Лукьянов С.М., Дорофеенко Г.Н. Ортоэфиры в органическом синтезе // Изд. РГУ.- Ростов-на-Дону.- 1976.

3 Кранес И.Ж., Стирна У.К., Алекснис А.Ф. пат. 546.624 // Chem. Abstr.- 86,172465x.- 1977

4 Wipf G. Acid catalysed hydrolysis of acetals and orthoethers facilitated by stereoelectronic effects an ab initio study // Tetrahedron Lett.- 1978.- N35.- P.3269-3270.

5 Dimerisation of 2-phenyl-1,3-dioxan-5-one: X-ray crystal structure of 2,10-diphenyl-1,3,6,9,11,13-hexaoxadispiro [4,1,5,2] tetradecane / Collins P.M., Travis A.S., Tsiquae K.N. e.a. // J. Chem. Soc. Chem. Trans. -1974.- Part I.- N16.- P. 1895-1901.

6 Wood L.L.: U.S. pat. 3.644.276 // Chem. Abstr.-77, 49506e.- 1972.

7 Jayne G.J.J., Hanington C.J., Askeev H.F.: Fr. pat. 2.339.668.// Chem. Abstr.-85, 194319w.- 1978.

8 Choi N.S., Heller J.: Ger. pat. 2.602.944 // Chem. Abstr.- 85, 144014k. - 1976.

9 Capozza R.C.: Ger. pat. 2.715.502 // Chem. Abstr.-88, 51358x. -1978.

10 Жидомиров Г.М., Багатурьянц А.А., Абронин И.А. Прикладная квантовая химия. Расчеты реакционной способности и механизмов химических реакций.-М.: Химия, 1979.- 296 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ЗАЩИТНО - ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РЕЗОРЦИНОФОРМАЛЬДЕГИДНЫМ ОЛИГОМЕРОМ

Э.А. Тур

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*В работе приведены данные исследования эксплуатационных свойств (стойкость к агрессивным средам, физико-механические свойства) модифицированных защитно-декоративных покрытий. С помощью сканирующей электронной (растровой) микроскопии изучена микроструктура полимерных пленок и изменения в ней, происходящие под воздействием модельных коррозионных сред.*

ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫЕ, ПOKPЫТИЯ, РЕЗОРЦИНО-  
ФОРМАЛЬДЕГИДНЫЕ, ОЛИГОМЕРЫ, МИКРОСТРУКТУРА, ПOKPЫТИЯ

Способность полимерных покрытий противостоять действию агрессивных сред определяется многокомпонентностью составов, но, прежде всего, свойствами главной - пленкообразующей части. Реакционная способность пленкообразующих полимеров определяется наличием функциональных групп в молекуле, скорости их взаимодействия с агрессивной средой различны.

Это, очевидно, объясняется изменением проницаемости полимера по мере его взаимодействия со средой и расположением активных функциональных групп молекул в полимере.

Водные акриловые и метакриловые полимеры (латексы), как известно, обладают большей устойчивостью к воздействию агрессивных сред, чем карбоксилатные латексы.

Известно, что резорцино - формальдегидные олигомеры (РФО) обладают лучшими защитными характеристиками, чем алкилрезорцинформальдегидные. Поэтому, в качестве пленкообразующего для изготовления полимерных композиций использовали дивинилметилметаакриловый латекс ДММА-65ГП, а в качестве модификатора - резорцинформальдегидный олигомер.

Олигомер СФ-282 представляет собой водорастворимую резорцин - формальдегидную смолу, получаемую путем конденсации резорцина с

формальдегидом в среде этилового спирта, этиленгликоля и водного раствора щелочи.

Обеспечение хороших адгезионных свойств достигается максимальным содержанием функциональных групп в готовом продукте.

По своему строению СФ-282 - смола новолачной типа. Перевод олигомера из новолачной формы в резольную осуществляется в процессе переработки. Дополнительную поликонденсацию проводят в водной среде с избытком формальдегида в присутствии едкого натра в качестве катализатора; полученный раствор вводят в исследуемую композицию.

В работе исследовались следующие защитно-декоративные покрытия (ЗДП), модифицированные резорцино-формальдегидным олигомером, содержащие масс. %: латекс ДММА-65ГП - 43,0...49,0; РФО СФ-282 - 4,2...9,0; формалин 37%-ный - 2,0...6,0; гидроксид натрия 50%-ный - 0,7...3,0; ОП-10 - 0,1; микротальк - 6,9...10,3; пигмент красный железосиний - 3,9...4,5; сера - 1,3...1,5; белая сажа - 2,6...3,0; антиоксидант - Алкофен Б - 0,5; Na-КМЦ (6%-ная) - 1,7...3,0; вода - 18,4...23,4.

Согласно исследований водо-, кислото- и щелочестойкости, полученные покрытия являются водостойкими. Водопоглощение составляет 1,02...1,32% и 2,22...4,90% через 24 часа и через 14 суток, соответственно, при неизменном цвете и целостности покрытия.

Кислотостойкость исследованных покрытий находится в пределах 0,45...0,62% и 1,70...2,97% через 24 часа и через 14 суток пребывания в 5%-ном растворе серной кислоты, соответственно, что свидетельствует о высоких защитных свойствах покрытий в среде средней степени агрессивности. При этом, изменение целостности поверхности покрытий в течение эксперимента не наблюдалось. Наряду с высокой кислотостойкостью, исследованные полимерные покрытия обладают высокой щелочестойкостью: растворопоглощение составляет 0,42...1,02% и 3,06...3,70% через 24 часа и через 14 суток пребывания в 10%-ном растворе гидроксида натрия соответственно. При этом, цвет и целостность покрытия остались без изменения.

Лучшие результаты показали ЗДП, содержащие 7,8 и 9,0 масс.% РФО.

Показатели, полученные при исследовании адгезии к бетонной поверхности, свидетельствуют о том, что все покрытия обладают высокой сцепляемостью с подложкой, как до, так и после испытания на кислотостойкость. Наибольшей адгезией (1,329 МПа) к бетонной подложке обладает покрытие с содержанием РФО в количестве 9 масс. %.

Смываемость полимерных покрытий составляет 0,1...0,7 г/м<sup>2</sup> и соответствует требованиям, предъявляемым к покрытиям для наружных работ.

Предел прочности свободных пленок составил 2,97 МПа при площади сечения пленок 0,61...0,67 мм. Пленки ЗДП являются устойчивыми к тепловому старению в стандартных условиях испытания (до 323°K) имеют хорошую эластичность.

Атмосферостойкость ЗДП модифицированных РФО составляет 5...7 условных лет, при этом, наблюдаются лишь отдельные незначительные сколы поверхности до 1%. Эти незначительные повреждения не могут оказать существенного влияния на эксплуатационные свойства полимерных покрытий.

Морозостойкость исследованных полимерных 40...45 циклов замораживания/оттаивания (без видимых признаков разрушения), что соответствует требованиям, предъявляемым к покрытиям для наружных работ (не менее 30 циклов).

Исследованные покрытия обладают высокой светостойкостью и стойкостью блеска, по-видимому, благодаря стабилизирующему действию введенного модификатора, что свидетельствует об эффективности процессов торможения фотоокислительной деструкции.

С помощью сканирующей электронной микроскопии изучены микроструктуры свободных пленок, образцы ЗДП, нанесенных на цементно-песчаную поверхность и цементное тесто, после выдержки в воде, 5%-ном растворе серной кислоты, 10%-ном растворе NaOH в течение 7 суток. Исследованы микроструктуры наружной и обратной сторон ЗДП, контактных зон "покрытие-подложка". Полученные композиции отличаются равномерным распределением пигментов, наполнителей и целевых добавок в полимерной матрице. Размеры всех включений составили от 2 до 5 мкм. Ярко прослеживается глобулярность пленки, видны характерные объединения глобул в "волокна". Размер глобул около 300 нм. С течением времени произошли процессы структурирования ЗДП. С наружной стороны пленка уплотнилась, вследствие процессов обезвоживания, но сохранила сплошность, что свидетельствует об однородности состава ЗДП.

Следует отметить хорошую адгезию композиционного материала к поверхности портландцемента. Можно утверждать, что происходит взаимопроникновение частиц ЗДП и цементного образца.

Структура ЗДП, испытанных в воде в течение 14 суток, полностью сохраняется.

Микроструктура ЗДП после воздействия 5%-ного раствора серной кислоты в течение 14 суток в основном сохраняется. Наблюдается лишь появление отдельных микропор размером 1,5...3,0 мкм. Локальные разрывы

пленки ЗДП происходят за счет образования кристаллов гидросульфоалюмината кальция.

Локальные дефекты исследованных ЗДП весьма незначительны и не влияют на защитные свойства материала.

В результате воздействия на ЗДП 10%-ного водного раствора гидроксида натрия в течение 14 суток, появились отдельные локальные разрушения. Однако, покрытие сохранило свою структуру, отмечено лишь появление некоторой "слоистости". Локальные разрушения произошли за счет перекристаллизации и возникновения напряжений в подложке.

Структура материала имеет цельный характер, полимерная матрица удерживает все составляющие, не наблюдается "выпадения" отдельных частиц пигментов и наполнителей.

За счет микротрещин и отдельных мелких микропор покрытие является "дышащим", что крайне необходимо при защите им бетонных и цементных поверхностей.

Рекомендуется производить защиту строительных конструкций не ранее чем через 28 суток после нанесения грунтовки, так как за это время большее количество цемента переходит в гидратированную форму.

Стойкость модифицированных ЗДП в средах средней степени агрессивности позволяет использовать их в качестве антикоррозионной защиты строительных конструкций различных отраслей промышленности.

#### Литература

1 Шварц А.Г., Динзбург Б.Н. Совмещение каучуков с пластиками и синтетическими смолами. - М.: Химия, 1985. - 312с.

2 Кноп А., Шейб В. Фенольные смолы и материалы на их основе. - М.: Химия, 1983. - 215 с.

3 Клаузнер Г.М. Опыт разработки и внедрения прогрессивных резорциновых смол. ВСНТР, Тюменская обл. правл. Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. - Тюмень, 1982, - 62с.

4 Алеевская Э.А., Волкова Ф.Н. Повышение защитных свойств латексо-содержащих окрасочных композиций. //Тезисы докладов Белгородской Всесоюзной конференции "Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии", Белгород, 1991, ч.4, с. 11-12.

5 Алеевская Э.А., Волкова Ф.Н. Исследование масло- и бензостойкости водно-дисперсионных покрытий на основе карбоксилатных латексов, модифицированных резорцинформальдегидными олигомерами. Тез. докладов юбилейной научно-технической конференции, посвященной 25-летию института, Брест, 1991, ч.2, с.96.

## СПИСОК АВТОРОВ

- В** Валуев В.Е. - 5, 18  
Власов Б.П. - 60  
Водчиц Н.Н. - 29  
Волкова Г.А. - 142  
Волчек А.А. - 18, 55
- Г** Годунов Б.А. - 176  
Головач А.П. - 149, 153  
Голуб Н.М. - 208  
Гулевич А.Л. - 198  
Гурло А.Ч. - 201
- Д** Дмухайло Е.И. - 135, 163, 168
- Е** Епифанов Ю.В. - 145
- Ж** Житенев Б.Н. - 114, 131, 135  
Житенева Н.С. - 131  
Жук В.В. - 100
- З** Зизельюк Н.П. - 178  
Зинович З.К. - 189, 192
- К** Ковальчук В.Л. - 105, 118  
Комар Н.И. - 114, 121, 131  
Комар Э.Н. - 121  
Крайко В.М. - 153  
Круглов Г.Г. - 64
- Л** Левданский Ю.М. - 189  
Лопух П.С. - 60  
Лукша В.В. - 18, 93  
Лысенкова Т.М. - 109, 142
- М** Махнист Л.П. - 183  
Мешик О.П. - 18, 73  
Мороз В.В. - 105, 118  
Мороз М.Ф. - 68  
Мохан Джайсвал - 64
- Н** Никитюк А.И. - 203
- О** Омелько А.А. - 97
- П** Пархимович И.В. - 172  
Пеньковская А.М. - 49  
Плужников В.Н. - 24  
Подолец Л.А. - 198  
Пойта Л.Л. - 139
- Р** Рубанов В.С. - 171
- С** Северянин В.С. - 121, 126  
Сидоревич И.М. - 180  
Сидоревич М.П. - 180  
Соколюк С.В. - 109  
Стельмашук С.С. - 38  
Строкач П.П. - 145
- Т** Тузик Т.А. - 186  
Тур Э.А. - 213
- Ф** Фашевский Б.В. - 35, 49  
Федоров В.Г. - 40
- Х** Хайко А.С. - 159, 163, 168  
Халецкий В.А. - 192, 201  
Химин П.Ф. - 149  
Хими́на Н.Т. - 149
- Ц** Цилиндь В.Ю. - 18, 84  
Цыганок В.В. - 18
- Ш** Шведовский П.В. - 40, 44
- Щ** Щербаков Г.А. - 24
- Я** Яловая Н.П. - 145, 149  
Яромский В.Н. - 105, 109, 114,  
118, 142

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
1 ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ . . . . .	5
В.Е.Валуев Экологические проблемы Беларуси . . . . .	5
В.Е.Валуев, А.А.Волчек, В.В.Лукша, О.П.Мешик, В.Ю.Цилиндь, В.В.Цыганок О необходимости разработки ин- формационно - советующей системы регионального мониторинга и аудирования состояния окружающей Среды (на примере СЭЗ "Брест") . . . . .	18
<b>В.Н.Плужников</b> , Г.А.Щербаков Оценка вклада точечных и рассредоточенных источников в загрязнение речных вод методом гидрохимического баланса . . . . .	24
Н.Н.Водчиц Прогноз увлажненности земель, прилегающих к водохранилищам, в условиях Белорусского Полесья . . . . .	29
Б.В.Фашевский Классификация водных объектов Беларуси по целям и характеру использования водных и других природных ре- сурсов . . . . .	35
С.С.Стельмашук Охрана и рациональное использование ме- лиорируемых земель . . . . .	38
В.Г.Федоров, П.В.Шведовский Исследование динамики эко- лого - социально - экономических свойств - признаков ландшафт- но - мелиоративных преобразований . . . . .	40
П.В.Шведовский Эколого - социальные проблемы мелиора- тивно - ландшафтных преобразований . . . . .	44
Б.В.Фашевский, А.М.Пеньковская Принципы установления целевых показателей и критериев качества вод . . . . .	49
А.А.Волчек Автоматизация гидрологических расчетов . . . . .	55
Б.П.Власов, П.С.Лопух Влияние инженерно - технических мероприятий на водные экосистемы в условиях Полесья . . . . .	60
Г.Г.Круглов, Мохан Джайсвал Повышение эффективности придамбового дренажа, защищающего территории от подтопле- ния . . . . .	64

<b>М.Ф.Мороз</b> Экологические аспекты автоматизации систем вертикального дренажа . . . . .	68
<b>О.П.Мешик</b> Проблемы количественной оценки составляющих тепловлагоресурсов Беларуси . . . . .	73
<b>В.Ю.Цилиндь</b> Определение смещения статистических параметров гидрологических рядов . . . . .	84
<b>В.В.Лукша</b> Гидролого - климатические составляющие ресурсов климата - основа размещения производственных комплексов на территории Беларуси . . . . .	93
<b>А.А.Омелько</b> Совершенствование управления водным режимом на осушительно - увлажнительных системах . . . . .	97
<b>В.В.Жук</b> Использование амортизационных шин в гидротехническом строительстве . . . . .	100
<i>2 ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, ВОДОБЕСПЕЧЕНИЕ И ТЕПЛОТЕХНИКА . . . . .</i>	
<b>В.Н.Яромский, В.Л.Ковальчук, В.В.Мороз</b> Экспериментальные исследования энергопотребления дисковых биофильтров . . .	105
<b>В.Н.Яромский, Т.М.Лысенкова, С.В.Соколюк</b> О содержании минеральных азотистых соединений в подземных водах . . .	109
<b>В.Н.Яромский, Б.Н.Житенев, Н.И.Комар</b> Разработка мероприятий по интенсификации работы фильтров водозабора Южный г. Бреста . . . . .	114
<b>В.Н.Яромский, В.В.Мороз, В.Л.Ковальчук</b> Исследование биохимической очистки сточных вод в ректоре с подъемной струей . . . . .	118
<b>В.С.Северянин, Н.И.Комар, Э.Н.Комар</b> Термовибрационная обработка осадков сточных вод . . . . .	121
<b>В.С.Северянин</b> Мусороперерабатывающее предприятие с новой технологией сжигания . . . . .	126
<b>Н.С.Житенева, Н.И.Комар, Б.Н.Житенев</b> Состояние поверхностных и подземных вод Республики Беларусь по степени загрязнения азотосодержащими соединениями . . . . .	131
<b>Б.Н.Житенев, Е.И.Дмухайло</b> Исследование эффективности работы азраторов с перфорированными эластичными мембранами	135
<b>Л.Л.Пойта</b> Некоторые вопросы использования водных ресурсов в Республике Беларусь . . . . .	139
<b>В.Н.Яромский, Т.М.Лысенкова, Г.А.Волкова</b> К расчету погружных дисковых биофильтров . . . . .	142

<i>3 ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</i> . . . . .	145
<b>Н.П.Яловая, П.П.Строкач, Ю.В.Епифанов</b> Базовые методы очистки нефтесодержащих сточных вод . . . . .	145
<b>А.П.Головач, П.Ф.Химин, Н.Т.Хими́на, Н.П.Яловая</b> Экологические исследования в дипломном проектировании . . . . .	149
<b>А.П.Головач, В.М.Крайко</b> Растворенные гумусовые вещества как фактор устойчивости к загрязнению гидроэкосистем . . . . .	153
<b>А.С.Хайко</b> О строении флокул активного ила . . . . .	159
<b>Е.И.Дмухайло, А.С.Хайко</b> Перспективная технология обработки осадков городских сточных вод . . . . .	163
<b>Е.И.Дмухайло, А.С.Хайко</b> Установка для насыщения воды кислородом с целью борьбы с заморами рыбы . . . . .	168
<i>4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИКЛАДНОЙ АНАЛИЗ</i> . . . . .	171
<b>В.С.Рубанов</b> Равномерные трансверсально - замкнутые слои . . . . .	171
<b>И.В.Пархимович</b> $S$ - сопряженные операторы к линейным интегро - дифференциальным операторам . . . . .	172
<b>Б.А.Годунов</b> К методу сеток для краевых задач обыкновенных линейных дифференциальных уравнений . . . . .	176
<b>Н.П.Зизелюк</b> Свойства решений первого уравнения Пенлеве $(P_1)$ . . . . .	178
<b>М.П.Сидоревич, И.М.Сидоревич</b> Об одном свойстве решений нелинейных дифференциальных уравнений четвертого порядка . . . . .	180
<b>Л.П.Махнист</b> О достоверности классов сигнатурных анализаторов, порождаемых произведениями минимальных многочленов . . . . .	183
<b>Т.А.Тузик</b> Интегральные уравнения типа свертки с ядрами, зависящими от линейной функции . . . . .	186
<i>5 ХИМИЯ, ЭКОЛОГО - ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ</i> . . . . .	189
<b>З.К.Зинович, Ю.М.Левданский</b> Влияние процесса подготовки поверхности алюминия на адгезионную прочность соединения полимер - металл . . . . .	189
<b>В.А.Халецкий, З.К.Зинович</b> Использование процессов пиролиза для решения проблемы утилизации полимерных отходов . . . . .	192

<b>А.Л.Гулевич, Л.А.Подолец</b> Роль индивидуального опроса в активизации самостоятельной работы студентов при изучении курса химии . . . . .	198
<b>В.А.Халецкий, А.Ч.Гурло</b> Отражение проблем взаимодействия: человек - окружающая Среда в программе специальных курсов . . . . .	201
<b>А.И.Никитюк</b> О периоде индукции окисления полиолефинов (обзор) . . . . .	203
<b>Н.М.Голуб</b> Геометрические параметры и электронное строение гипотетической молекулы 4,4 - диметил - 1,3 - дитиана . . . . .	208
<b>Э.А.Тур.</b> Исследование свойств высоконаполненных защитно - декоративных покрытий, модифицированных резорциноформальдегидным олигомером . . . . .	213
<i>СПИСОК АВТОРОВ</i> . . . . .	217
<i>СОДЕРЖАНИЕ</i> . . . . .	218

Научное издание

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ОХРАНА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Труды Международной научно-практической конференции по  
проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского  
строительства и экономико-социальных преобразований в условиях  
рыночных отношений  
(17-18 февраля 1998 года)

Ответственный за выпуск и научный редактор.....	В.Е.Валуев
Редактор.....	Т.В.Строкач
Художественный редактор..	А.А.Волчек
Художник.....	О.П.Мешик
Технический редактор.....	В.Е.Валуев
Компьютерная верстка.....	О.П.Мешик, В.В.Лукша

Сдано в набор 03.01.98. Подписано в печать 30.01.98. Формат 60x84<sub>1/16</sub>. Бумага писчая. Гарнитура Times New Roman Суг. Усл.печ.л. 12,8. Уч.- изд.л. 13,8. Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе Брестского политехнического института. 224023, г. Брест, Московская. 267.