СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Мирсоатова Робия Джахонгировна,
базовый докторант,
Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий,
Пулатов Хайрулла Лутпуллаевич,
доктор химических наук, профессор,
Академия труда и социальных отношений.

Аннотация. Статья посвящена современным системам биологической очистки сточных вод и рассматривает их конструктивные особенности, механизмы работы и перспективы развития. Приводится классификация процессов биологической очистки, включая системы с непрерывным потоком и реакторы периодического действия (SBR), а также описываются их технологические преимущества и ограничения. Подробно рассматривается процесс активного ила, формирование микробных сообществ и ключевые проблемы эксплуатации — разжижение ила, пенообразование и влияние филаментозных бактерий. Особое внимание уделено возможностям удаления питательных веществ (азота и фосфора), включая традиционные методы нитрификации–денитрификации и инновационные технологии, такие как частичная нитрификация, процессы anammox и CANON. Рассматриваются современные модели контроля и оптимизации работы очистных сооружений, основанные на математическом моделировании биологических и гидродинамических процессов. В заключение обсуждаются сильные и слабые стороны систем активного ила, проблемы утилизации избыточного ила, а также перспективы развития отрасли в контексте устойчивого использования ресурсов, восстановления питательных элементов и интеграции очистных систем в биогеохимические циклы. Статья подчеркивает необходимость комплексного, научно обоснованного подхода к управлению сточными водами и важность биологических методов для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития.

Ключевые слова: биологическая очистка сточных вод; активный ил; филаментозные бактерии; SBR-реакторы; итрификация; денитрификация; удаление азота; удаление фосфора; процессы anammox; частичная нитрификация; осаждение ила; устойчивое развитие.

Annotatsiya. Maqolada oqova suvlarni zamonaviy biologik tozalash tizimlariga bag‘ishlangan bo‘lib, ularning konstruktiv xususiyatlari, ish mexanizmlari va rivojlanish istiqbollari yoritiladi. Unda biologik tozalash jarayonlarining tasnifi, jumladan uzluksiz oqimli tizimlar va davriy ishlaydigan reaktorlar (SBR) ko‘rib chiqiladi, shuningdek, ularning texnologik afzalliklari va cheklovlari tahlil qilinadi. Faol loyqa jarayoni, mikrobial jamoalarning shakllanishi va loyqani suyultirish, ko‘piklanish va filamentli bakteriyalarning ta’siri kabi asosiy ekspluatatsion masalalar batafsil muhokama qilinadi Alohida e’tibor ozuqa moddalari(azot va fosfor)ni chiqarib tashlash imkoniyatlariga qaratilgan bo‘lib, an’anaviy nitrifikatsiya–denitrifikatsiya usullari hamda qisman nitrifikatsiya, anaerob ammiak oksidlanishi jarayonini va CANON kabi innovatsion texnologiyalarni o‘z ichiga oladi. Zamonaviy tozalash inshootlarining ishini nazorat qilish va optimallashtirish modellari ko‘rib chiqiladi, ular biologik va gidrodinamik jarayonlarni matematik modellashtirishga asoslangan. Xulosa qismida faol loy tizimlarining kuchli va zaif tomonlari, ortiqcha loyni utilizatsiya qilish muammolari, shuningdek, resurslardan barqaror foydalanish, oziqlantiruvchi elementlarni tiklash va tozalash tizimlarini biogeokimyoviy aylanishlarga integratsiyalash kontekstida sohaning rivojlanish istiqbollari muhokama qilinadi. Maqola oqova suvlarni boshqarishda kompleks va ilmiy asoslangan yondashuvning zarurligini hamda ekologik xavfsizlik va barqaror rivojlanishni ta’minlashda biologik usullarning ahamiyatini ta’kidlaydi.

Kalit so‘zlar: oqova suvlarni biologik tozalash; faol loy; filamentli bakteriyalar; SBR reaktorlar; nitritifikatsiya; denitritifikatsiya; azotni olib tashlash; fosforni olib tashlash; anaerob ammoniy oksidlanishi jarayonlari; qisman nitrifikatsiya; loyni cho‘ktirish; barqaror rivojlanish.

Abstract. The article is dedicated to modern biological wastewater treatment systems and examines their structural features, operational mechanisms, and development prospects. A classification of biological treatment processes is provided, including continuous-flow systems and sequencing batch reactors (SBR), along with a discussion of their technological advantages and limitations. The activated sludge process is analyzed in detail, including the formation of microbial communities and key operational challenges such as sludge bulking, foaming, and the impact of filamentous bacteria. Particular attention is paid to the removal of nutrients (nitrogen and phosphorus), covering both conventional nitrification–denitrification methods and innovative technologies, such as partial nitrification, anammox processes, and CANON. Modern models for the monitoring and optimization of wastewater treatment plant operations are considered, based on the mathematical modeling of biological and hydrodynamic processes. In conclusion, the strengths and weaknesses of activated sludge systems, challenges related to the disposal of excess sludge, and the development prospects of the industry in the context of sustainable resource use, nutrient recovery, and the integration of treatment systems into biogeochemical cycles are discussed. The article emphasizes the need for a comprehensive, scientifically grounded approach to wastewater management and highlights the importance of biological methods in ensuring environmental safety and sustainable development.

Keywords: biological wastewater treatment; activated sludge; filamentous bacteria; SBR reactors; nitrification; denitrification; nitrogen removal; phosphorus removal; anammox processes; partial nitrification; sludge settling; sustainable development.

Введение.

Как правило, системы очистки сточных вод (СОСВ), содержащие реакторы (бассейны или резервуары) с перегородками для разделения потоков и оптимизации работы, часто называют очистными сооружениями (СОСВ). Поток сточных вод через такие системы тщательно контролируется и оптимизируется.

СОСВ может включать механический, химический и биологический этапы. На механическом этапе тяжелые частицы оседают на дне, а легкие вещества, плавающие на поверхности воды, удаляются. На химическом этапе добавляют соли металлов для осаждения фосфора. Удаление фосфора может выполняться на разных стадиях очистки: до биологического этапа (предварительное осаждение), одновременно с ним (совместное осаждение) или после него (послеосаждение).

Биологический этап может выполняться по одному из двух основных принципов. Реактор может содержать твердые поверхности для роста бактерий и развития биопленки (капельные фильтры, вращающиеся биологические контакторы, псевдоожиженные слои) (Рисунок 1б). Другой подход — позволить бактериям расти в объеме воды при поддержке естественно присутствующих взвешенных веществ (процесс активного ила) (Рисунок 1а).

Процесс активного ила может быть спроектирован как система с непрерывным потоком или как SBR (реактор с последовательной загрузкой). Оба типа систем обычно включают аэрированный биологический этап удаления питательных веществ с последующим осаждением образующегося ила. Разница между ними заключается в том, что в системе с непрерывным потоком эти процессы происходят в двух разных реакторах, тогда как в SBR они выполняются последовательно в одном реакторе [1].

Системы с непрерывным потоком и SBR

В традиционной системе с непрерывным потоком первично обработанные сточные воды подаются в аэрированный бассейн (Рисунок 8а). Подача сточных вод и подача сжатого воздуха могут осуществляться разными способами: от подачи с одного конца бассейна, что создает градиенты кислорода и субстрата по всему объему, до подачи в нескольких точках, обеспечивая более однородную среду.

Кроме того, по пути через бассейн вода может проходить через более или менее открытые отсеки. В полностью смешанной системе вода также циркулирует внутри бассейна. Очистка сточных вод завершается в отстойнике, где оседают частицы, прежде чем очищенная фаза покинет процесс. Осевший избыток ила, содержащий жизнеспособную биомассу, удаляется и обрабатывается отдельно; часть ила возвращается для повторного засева процесса. Эта процедура обеспечивает стабильную работу установки. В целом концепция похожа на непрерывное культивирование микроорганизмов в лаборатории или на многих промышленных предприятиях.

Работа одного или нескольких SBR, включенных в ряд, состоит из последовательности циклов «загрузка–реакция–осаждение–слив–пауза». Каждый цикл обычно включает несколько отдельных фаз: загрузка, реакция, осаждение, слив и пауза. После фазы реакции, то есть фазы роста, образующаяся биомасса осаждается, и очищенный верхний слой сточных вод можно удалить. Процесс напоминает пакетное культивирование бактерий в лаборатории [2].

Биологический процесс

На биологическом этапе процесса активного ила необходимо обеспечить надлежащее перемешивание воды, чтобы взвешенные вещества, воздух, питательные вещества и микроорганизмы могли вступать в тесный контакт. В зависимости от режима перемешивания различают системы с поступательным потоком и полностью смешанные системы.

В реакторные резервуары подается большой объем воздуха снизу, чтобы достичь эффективного перемешивания и обеспечить аэробные микроорганизмы достаточным количеством кислорода для дыхания. Концентрация растворенного кислорода (РК) должна поддерживаться примерно на уровне 2 мг/л. Как описано выше, фазовые переходы в системе создают оптимальные условия для роста микроорганизмов. Во время фазы реакции формируются трехмерные агрегаты высокоактивных микробных сообществ, называемые хлопьями (рис. 1а). Диаметр хлопьев обычно составляет 100–500 мкм. Новые микроскопические методы, такие как эпифлуоресценция и лазерная конфокальная сканирующая микроскопия (CLSM) в сочетании с анализом изображений, применяются для изучения агрегатов активного ила [3].

Как правило, в хлопьях можно выделить четыре основные структуры:

1. Активные и неактивные микробные клетки, в основном бактерии, простейшие и многоклеточные организмы;
2. Внеклеточные полимерные вещества, такие как углеводы и белки;
3. Неорганические частицы (песок);
4. Вода.

С технической точки зрения свойства ила имеют ключевое значение. Формирование плотных хлопьев с хорошими осадочными свойствами обеспечивает благоприятные условия для эксплуатации. Филаментозные бактерии всегда присутствуют в здоровом процессе, который работает нормально и не проявляет признаков проблем с разжижением или пенообразованием. Для описания и характеристики свойств ила предложено несколько индексов ила [4].

Иногда доля филаментозных бактерий увеличивается, что приводит к образованию хлопьев рыхлой структуры, которые оседают медленно и плохо уплотняются. Это явление, называемое разжижением ила**,** приводит к неконтролируемой потере взвешенных веществ, включая, например, активную нитрифицирующую биомассу. Хотя большинство филаментозных бактерий являются гетеротрофами, их крайне трудно культивировать. Примерно десять типов филаментозных микроорганизмов, по-видимому, участвуют в большинстве случаев разжижения ила. Особенно важным считается микроорганизм Microthrix parvicella [5]**.**

Эта бактерия длинная и тонкая, а ее закрученная форма позволяет легко идентифицировать ее при микроскопии образцов активного ила. Известны только метаболические характеристики нескольких выделенных штаммов, и результаты не всегда совпадают. **Microthrix parvicella** отрицательно реагирует на концентрации растворенного кислорода (РК) выше 6 мг/л, но хорошо растет при ~0,4 мг/л и, следовательно, считается микроаэрофилом. Она предпочитает слегка щелочную среду, оптимальный рост наблюдается при 25 °C, хотя некоторый рост отмечался и

при 8 °C. Диапазон максимальных скоростей роста (μ_{max}) составляет 0,38–1,44 сут$^{-1}$.

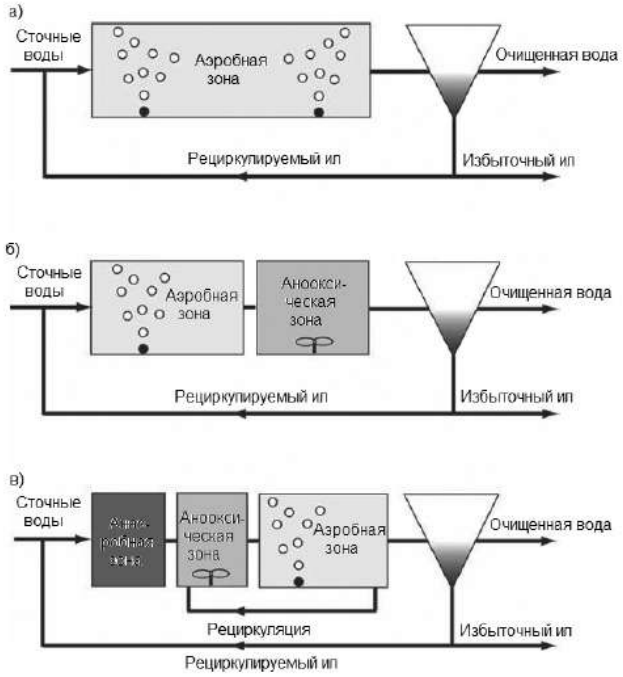


Рис. 1. Примеры традиционных процессов активного ила:
а) без удаления азота,
б) с возможностью удаления азота,
в) с возможностью биологического удаления азота и усовершенствованного биологического удаления фосфора.

Бактерия не усваивает глюкозу, но, по-видимому, предпочитает длинноцепочечные жирные кислоты, такие как олеиновая кислота. Она может запасать внутриклеточные полигидроксиалканоаты (ПГА) и липиды. Надежной стратегии контроля разжижения ила, вызванного увеличением количества филаментозных организмов в процессе активного ила, пока не существует. Основываясь на физиологических свойствах бактерии, предложены следующие изменения процесса для снижения ее численности: сократить время удержания ила, увеличить концентрацию РК до >2 мг/л и удалить высокое содержание липидов с помощью флотации [6].

Еще одной распространенной проблемой, приводящей к затруднениям с осаждением взвешенных веществ, является **пенообразование**. Стабильная пена поднимает ил на поверхность отстойника и способствует переносу взвешенных веществ из отстойника. Пена чаще всего состоит из плотной матрицы филаментозных бактерий и пузырьков воздуха. Причины пенообразования могут быть различными. **Microthrix parvicella** кажется более гидрофобной по сравнению с большинством других бактерий процесса активного ила и часто связана с проблемами пенообразования. Другой группой бактерий, обнаруживаемой в пене активного ила, являются актиномицеты, продуцирующие миколовые кислоты. Наиболее распространенные методы контроля пенообразования совпадают с методами борьбы с разжижением ила. Тем не менее, масштаб проблемы потребовал разработки как физических, так и химических краткосрочных мер для ее устранения [7].

Возможности удаления питательных веществ

Правильно управляемый процесс активного ила позволяет эффективно удалять органический углерод, а также минерализовать и нитрифицировать азот. Как правило, эффективность удаления химической потребности в кислороде (ХПК) и биохимической потребности в кислороде (БПК) для муниципальных сточных вод превышает 85% и 95% соответственно.

Снижение содержания углерода происходит за счет потерь в процессе аэробного дыхания, удаления осевшего ила, образованного ростом биомассы, а также флокуляции растворенного и взвешенного органического вещества. Кроме того, примерно 20–30% поступающего фосфора и азота задерживается в осевшем иле; однако большая часть фосфора и азота покидает систему в виде растворенного фосфата и нитрата.

Таким образом, базовая конструкция процесса активного ила менее эффективна для снижения содержания азота и фосфора. Введение химического осаждения и комбинированных процессов нитрификации–денитрификации позволяет повысить общую эффективность удаления фосфора и азота до >90% и >70% соответственно. Высокие объемы ила, образующиеся в системах активного ила, представляют собой проблему [8].

Хотя ил является потенциальным «органическим удобрением», поскольку он богат питательными веществами для растений, его использование на пахотных землях связано с риском наличия патогенов и химических токсикантов, таких как тяжелые металлы. Поэтому вопросы утилизации ила представляют определенные сложности.

В связи с этим предпринимаются меры по сокращению объема образования ила. Увеличение времени аэрации приводит к более длительному пребыванию ила в системе, что продлевает период эндогенного метаболизма — потребления микроорганизмами собственных внутренних клеточных веществ, а также минерализации разрушенных клеток и взвешенных частиц.

Применение водных хищных олигохетей предлагалось в качестве способа сокращения избыточного образования ила. Одним из распространенных методов уменьшения объема ила на очистных сооружениях является обработка ила в анаэробном реакторе для производства биогаза (CO_2 и CH_4) [9].

Повышенное удаление азота и фосфора

Комбинация процессов нитрификации и денитрификации давно признана эффективным биологическим методом удаления азота из сточных вод. Очевидный способ создания подходящей среды для двух групп бактерий — это размещение аэробного отсека или зоны перед анаэробной в так называемом процессе постденитрификации (Рисунок 1b). Однако, поскольку большая часть органического вещества потребляется в аэробной зоне, такая схема может быть малоэффективной из-за недостатка легко доступной энергии для денитрификаторов. Более эффективным решением является расположение анаэробной (аноксической) зоны перед токсической и циркуляция воды между двумя зонами. В такой схеме, называемой предденитрификацией, денитрификаторы получают как анаэробные условия, так и свежий органический материал из поступающих сточных вод.

Другим решением является поддержка денитрификации за счет внешнего источника органической энергии. Эффективная денитрификация наблюдалась, например, при использовании ацетата, этанола и метанола. Реакция на ацетат и этанол происходит практически сразу, поскольку эти молекулы входят в нормальные метаболические пути органотрофных бактерий. Для эффективной денитрификации с использованием метанола требуется длительный период адаптации, обычно несколько месяцев. Лишь несколько медленно растущих специализированных микроорганизмов, например, **Hyphomicrobium sp.**, способны использовать соединения с одним атомом углерода (CH_3OH), и соответствующие метаболические пути достаточно сложны. Недавние достижения в области биологических методов удаления азота в сочетании с открытием новых бактерий привели к появлению некоторых новых технологий. Комбинирование частичной нитрификации с процессом **anammox** позволило разработать методы удаления азота с меньшими затратами ресурсов [10].

В процессе частичной нитрификации осуществляется «короткий путь», при котором предотвращается окисление нитрита в нитрат нитрит-окисляющими бактериями. Вместо этого нитрит удаляется напрямую путем гетеротрофной денитрификации. В системе с одним реактором для высокого удаления аммония через нитрит (SHARON) неполная нитрификация достигается за счет того, что нитрит-окисляющие бактерии растут медленнее, чем аммоний-окисляющие, при более высоких температурах (>26 °C). При увеличении гидравлического времени удержания нитрит-окислители вымываются из системы. Накопившийся нитрит затем удаляется с помощью процесса **anammox** в следующем реакторе. В процессе **anammox** нитрит окисляется с аммонием в качестве донора электронов [11].

В частичной нитрификации половина аммония превращается в нитрит. Преимущество процесса заключается в том, что для этапа денитрификации не требуется дополнительный органический источник энергии. Другой вариант заключается в том, чтобы позволить нитрификаторам окислять аммоний до нитрата в одном реакторе и при этом потреблять кислород, создавая анаэробные условия, необходимые для бактерий **anammox**. Этот процесс называется **CANON** — аббревиатура от «completely autotrophic nitrogen removal over nitrite» (полностью автотрофное удаление азота через нитрит). Поскольку как биологическое удаление азота, так и усовершенствованное биологическое удаление фосфора требуют чередования аэробных и анаэробных циклов, логично объединить эти два процесса на одной очистной станции. Однако на практике это не так просто. Помимо чередующихся анаэробных и аэробных режимов, анаэробная зона должна оставаться полностью бескислородной, чтобы в ней образовывались продукты ферментации, такие как жирные кислоты, необходимые для отбора бактерий PAO (организмы, накапливающие фосфат). Уровень нитратов в анаэробной зоне должен быть низким; иначе гетеротрофные денитрификаторы будут потреблять органические молекулы, нужные бактериям PAO. В так называемом трехступенчатом процессе **PHOREDOX** подача сточных вод осуществляется сначала в анаэробный реактор, а затем — в анаэробный (аноксический) реактор, который также получает возвращаемый активный ил из последнего аэробного реактора (Рисунок 1c). Таким образом, уменьшается количество нитратов, возвращаемых с илом из отстойника в начало системы. Благодаря этой схеме достигается удаление как фосфора, так и азота [12].

Модели регулирования и моделирования

Процесс активного ила включает не только сложные элементы, но и характеристики поступающих сточных вод временно изменяются. Это подчеркивает необходимость тщательного контроля и оптимизации для поддержания и тонкой настройки работы системы. Для описания фактической работы станции очистной сточных вод (СОСВ) может использоваться общая модель, включающая ансамбль: модели активного ила, гидравлической модели, модели переноса кислорода и модели отстойника. Модель активного ила описывает биологические реакции, происходящие в процессе, с помощью системы дифференциальных уравнений. Помимо применения для контроля и оптимизации, модель СОСВ может использоваться для симуляции различных сценариев с целью обучения или оценки новых вариантов проектирования [13].

Сильные и слабые стороны очистных сооружений

В своей базовой конструкции процесс активного ила обладает высокой способностью к биологическому окислению углерода и азота. Кроме того, это достигается в сравнительно небольших установках, то есть требуется меньше места, что чаще всего является необходимым условием для очистки сточных вод в городских районах. С модификацией конструкции также возможно удаление значительных количеств азота и фосфора биологическим путем. Процесс SBR (реактор периодического действия) является одновременно стабильным и гибким вариантом активного ила. Биомасса не вымывается из системы, а возможность справляться с изменениями органической нагрузки и гидравлической нагрузки высокая. Кроме того, для поддержания процесса SBR требуется меньше оборудования и внимания со стороны операторов.

Очистка сточных вод с использованием процесса активного ила должна рассматриваться как высокотехнологичный процесс, требующий значительных знаний и опыта для управления такой системой. При проектировании установок активного ила основной акцент делается на эффективность удаления питательных веществ. Хотя патогены, как правило, удаляются на приемлемом уровне, большинство очистных сооружений не рассчитаны на очистку патогенных микроорганизмов.

Более того, избирательное давление окружающей среды на микробные сообщества, вероятно, приводит к формированию высокоспециализированных экосистем. В результате процесс очистки может быть чувствителен к нарушениям из-за изменений окружающей среды, таких как нагрузка и состав сточных вод, а также присутствие токсикантов во входящей воде. Затраты на обслуживание и уход за установкой высоки. Азот, удаляемый из системы, выделяется в виде газообразных эмиссий вместо того, чтобы использовать его как ценное питательное вещество для сельскохозяйственных культур.

Кроме того, иловая масса, богатая питательными веществами для растений, может содержать тяжелые металлы и антропогенные органические загрязнители, которые пред-

ставляют потенциальный риск для экосистемы. Поэтому такую иловую массу чаще всего необходимо складировать или, в некоторых случаях, сжигать.

В заключение, процесс активного ила, вероятно, останется основной технологией очистки сточных вод в обозримом будущем. Конструкции и схемы процессов продолжают совершенствоваться для удовлетворения требований к новым типам сточных вод, повышению эффективности очистки и снижению расхода ресурсов [14].

Перспективы биологической очистки сточных вод

Изначально организованная очистка сточных вод вводилась в санитарных целях. Сегодня в индустриализованных странах очистные сооружения и сельскохозяйственные земли вносят значительную долю в антропогенную нагрузку азота на морские водоемы, что сильно усиливает эвтрофикацию водных экосистем. Большинство природных экосистем контролируется дефицитом макроэлементов, таких как фосфор и азот, что означает, что уровень эвтрофикации часто напрямую влияет на реакцию экосистемы. Этот факт подчеркивает важность того, чтобы системы очистки сточных вод были адаптированы к естественным биогеохимическим циклам и соответствовали концепции устойчивого общества.

Важным вопросом является, в какой степени сточные воды, например, муниципальные сточные воды и осадок сточных вод, следует рассматривать как отходы или как ценный ресурс, который можно перерабатывать для удобрения сельскохозяйственных культур и производства энергии. Основные ограничения для растущего населения связаны с продовольствием и энергией. Сегодня как добыча фосфора, так и производство минеральных азотных удобрений требуют значительных ресурсов ископаемого топлива. Следовательно, одной из важных целей будущего должно стать создание устойчивого кругооборота питательных веществ для растений через производство и переработку продуктов питания, потребление в городах, обращение с отходами и возврат на сельскохозяйственные земли. Для этого сточные воды после очистки должны содержать как можно больше фосфора и азота при минимальном содержании органических и неорганических токсикантов [15].

Достижение этих глобальных целей требует возможности обрабатывать растущее количество сточных вод. Важно не только выбирать специфические решения для конкретных условий очистки, но и оптимизировать процессы с учетом обширной научной базы, включающей как гидродинамику воды, так и биологические процессы. Такая интегрированная научная база необходима для глубокого понимания ключевых микробиологических процессов, участвующих в удалении азота, и для оптимизации биологических систем очистки. Еще одной перспективой будущего является вклад очистных водоемов (treatment wetlands) в поддержание биологического разнообразия экосистемы, а также создание доступных мест для рекреации и образовательного взаимодействия городских жителей с природой. Наиболее важно то, что это повышает осведомленность о сточных водах как ресурсе и, вероятно, стимулирует граждан участвовать в реализации этой идеи [16].

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ahn Y-H (2006) Sustainable nitrogen elimination biotechnologies. *Process Biochemistry* 41: 1709–1721.

2. Bolster CH and Saiers JE (2002) Development and evaluation of a mathematical model for surface-water flow within Shark River Slough of the Florida Everglade. *Journal of Hydrology* 259: 221–235.

3. de-Bashan L-E and Bashan Y (2004) Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizers (1997–2003). *Water Research* 38: 4222–4246.

4. Garnaey KV, van Loosdrecht MCM, Henze M, Lind M, and Jørgensen SB (2004) Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: State of the art. *Environmental Modelling and Software* 19: 763–784.

5. Gilbride KA, Lee D-Y, and Beudette LA (2006) Molecular techniques in wastewater: Understanding microbial communities, detecting pathogens, and real-time processes. *Journal of Microbiological Methods* 66: 1–20.

6. Hughes J and Heathwaite L (1995) *Hydrology and Geochemistry of British Wetlands*. London: Wiley.

7. Juretschko S, Loy A, Lehner A, and Wagner M (2002) The microbial community composition of a nitrifying–denitrifying activated sludge from an industrial sewage treatment plant analyzed by the fullcycle rRNA approach. *Systematic and Applied Microbiology* 25: 84–99.

8. Kadlec RH and Knight RL (1996) *Treatment Wetlands*. New York: CRC Press LLC.

9. Kelly JJ, Siripong S, McCormack J, *et al*. (2005) DNA microarray detection of nitrifying bacterial 16S rRNA in wastewater treatment plant samples. *Water Research* 39: 3229–3238.

10. Levenspiel O (1999) *Chemical Reaction Engineering*. New York: Wiley.

11. Liwarska-Bizukokc E (2005) Application of image techniques in activated sludge wastewater treatment processes. *Biotechnology Letters* 27: 1427–1433.

12. Rossetti S, Tomei MC, Nielsen PH, and Tandoi V (2005) '*Microthrix parvicella*', a filamentous bacterium causing bulking and foaming in activated sludge systems: A revew of current knowledge. *FEMS Microbiology Reviews* 29: 49–64.

13. Schmidt I, Sliekers O, Schmidt MS, *et al*. (2003) New concepts of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. *FEMS Microbiology Reviews* 27: 481–492.

14. Seviour RJ and Blackall LL (eds.) (1999) *The Microbiology of Activated Sludge*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

15. Van Niftrik LA, Fuerst JA, Sinninghe Damste´ JS, *et al*. (2004) The anammoxosome: An intracytoplasmic compartment in anammox bacteria. *FEMS Microbiology Letters* 233: 7–13.

16. Wagner M and Loy A (2002) Bacterial community composition and function in sewage treatment systems. *Current Opinion in Biotechnology* 13: 218–227.

17. Metcalf & Eddy (2014) Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. New York: McGraw-Hill Education.
18. Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D. (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
19. Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A., Brdjanovic D. (2008) Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design. London: IWA Publishing.
20. Grady C.P.L., Daigger G.T., Love N.G., Filipe C.D.M. (2011) Biological Wastewater Treatment. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press.

SUV OMBORLARINING GAT MODELI VA MA'LUMOTLAR BAZASI

Ikramova Malika Raximberdiyevna,
Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti laboratoriya mudiri, texnika fanlari doktori, professor,
Xodjiyev Alisher Kuldashevich,
Toshkent davlat agrar universiteti dotsenti.

Annotatsiya. Suv omborlarida cho'kindilarning to'planishi uning suv saqlash sig'imiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Suv omborlarini samarali boshqarish uchun ularning suv saqlash hajmini davriy ravishda baholab borish zarur. Ushbu maqolada suv omborlarini boshqarish va monitoringini olib borishda zamonaviy axborot texnologiyalaridan, xususan, geografik axborot tizimlari — GAT dan samarali foydalanish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan hamda GAT asosida suv omborlari to'g'risidagi ma'lumotlarni yig'ish, saqlash va tahlil qilish uchun ma'lumotlar bazasini yaratish bo'yicha metodologiya taklif etilgan.

Kalit so'zlar: suv ombori, morfometriya, gidrologiya, masofadan zondlash, GAT.

Аннотация. Накопление наносов в водохранилищах существенно влияет на его емкость для хранения воды. Для эффективного управления водохранилищами необходимо периодически оценивать изменение их емкости. В данной статье рассмотрены возможности эффективного использования современных информационных технологий, в частности географических информационных систем - ГИС, при управлении и мониторинге емкости водохранилищ, а также предложена методология создания базы данных для сбора, хранения и анализа данных о состоянии водохранилищ на основе ГИС.

Ключевые слова: водохранилище, морфометрия, гидрология, дистанционное зондирование, ГИС.

Abstract. Sediment accumulation in reservoirs significantly affects on its water storage capacity. For effective management of reservoirs, it is necessary periodically assess their water storage capacity. This article examines the possibilities of effective use of modern information technologies, in particular geographic information systems – GIS, related to the reservoirs' capacity management and monitoring, as well proposes a methodology for creating a database for collecting, storing, and analyzing of the data based on GIS.

Keywords: reservoir, morphometry, hydrology, remote sensing, GIS.

Kirish. Suv omborlari insoniyat sivilizatsiyasi va ekotizimlarini saqlashda hamda mamlakat suv resurslarini boshqarishda muhim ahamiyatga ega obyektlardan biri hisoblanadi, chuchuk ular irrigatsiya, ichimlik suvi ta'minoti, energiya ishlab chiqarish va atrof-muhitni boshqarishning muhim manbalari bo'lib xizmat qiladi [1-4]. Bunda suv omborlarining gidrologik dinamikasi, morfologiyasi va morfometriyasini bilish suv resurslarini barqaror boshqarish uchun muhim ahamiyatga ega [5-7].

Suv ombori kosasiga loyqa cho'kishi suv omborining suv sig'imini pasaytiradi va uning samaradorligiga ta'sir qiladi [8]. ya'ni suv ta'minoti, gidroenergetika ishlab chiqarish, sug'orish va suv toshqinlarini nazorat qilish shular jumlasidandir [9; 10; 11]. Shuningdek, bu suv sifatini buzadi, suv muhitiga ta'sir qiladi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarining oshishiga olib keladi [12; 13; 14].

Suv omborida cho'kindilarning vaqt bo'yicha taqsimlanishi vaqt o'tishi bilan cho'kindi to'planishining evolyutsion jarayonini ifodalaydi. Daryolarning jadallashgan oqim davrlarida va suv omborlarining suv sathi yuqori atmetkalarda ishlashi, unga kirib kelayotgan cho'kindi miqdorining ortishiga va cho'kishiga olib keladi [15]. Cho'kindilarning vaqt bo'yicha taqsimlanishini o'rganish suv omborlari sig'imini samarali boshqarish, suv sifati va ekotizimlar barqarorligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi [16;17]. Suv omborlarida cho'kindilarning fazoviy taqsimlanishi tub relyefi, gidrodinamik jarayonlar va inson faoliyati ta'sirida shakllanib, ularning to'planish tartibida ma'lum notekis qonuniyatlarni namoyon etadi [17; 18].

Geofazoviy vositalar geografik axborot tizimlari (GAT), masofadan zondlash, global navigatsiya sun'iy yo'ldosh tizimlari (GNSS) hamda turli fazoviy tahlil usullarini qamrab olgan integratsiyalashgan texnologiyalar majmuasi bo'lib, suv omborlarida cho'kindi to'planish jarayonlarini baholash usullarini sezilarli darajada takomillashtirish imkonini beradi. Ushbu texnologiyalar cho'kindi hosil bo'lish jarayonlarini tahlil qilish, kuzatish va boshqarishning innovatsion hamda yuqori aniqlikka ega usullarini joriy etishga zamin yaratdi. Cho'kindi hosil bo'lishining fazoviy va vaqtinchalik qonuniyatlarini chuqur tahlil etish suv omborlarini samarali boshqarish, ular-