

УДК 504.064.3

СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ

И.А. Шишкин¹, А.И. Шишкин², Н.А. Жильникова³

^{1,3} Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
и ² Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета
промышленных технологий и дизайна; Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: ¹ ilya@mail.ru; ² aishishkin@yandex.ru; ³ nataliazhilnikova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 23.02.2018; принята к печати 25.06.2018

Рассмотрены принципы, методы и средства реализации современной концепции эколого-технологического нормирования техногенной нагрузки на водные объекты и их экологические системы, а также алгоритмы оценки уровней безопасности и ущерба от подтопления градопромышленных территорий и хозяйственных объектов. Особое внимание уделено экологическому управлению территориальными природно-техническими комплексами на основе межотраслевого подхода с учетом большого многообразия и сложности разнородных определяющих факторов, а также учету труднопредсказуемых событий, основанному на математическом геоинформационном моделировании. Приняты во внимание наиболее важные параметры водного режима, в том числе его распределение во времени и пространстве, скорость продукционных процессов, деструкция органического вещества, флоры и фауны гидробионтов и, как следствие, общее состояние качества воды и биопродуктивность водных экосистем. Их оценка с применением математических моделей конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ позволяет определить их непосредственное или опосредованное, быстрое или отсроченное влияние на абиотические и биотические компоненты водных экосистем.

Ключевые слова: эколого-технологическое нормирование, геоинформационная система, межотраслевое нормирование, мониторинг, экспертная оценка.

AN UP-TO-DATE CONCEPT OF AND METHODS FOR RATE SETTING OF ANTHROPOGENIC LOADS ON WATER BODIES AND FOR PREVENTION OF IMPOUNDMENTS

I.A. Shishkin¹, A.I. Shishkin², N.A. Zhilnikova³

^{1,3} Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrument Engineering and ² School of Technology and Energetics
of Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

E-mail: ¹ ilya@mail.ru; ² aishishkin@yandex.ru; ³ nataliazhilnikova@gmail.com

The paper addresses the principles, methods and means of implementation of a concept of environmental rate setting of anthropogenic load on water bodies and related ecological systems and the algorithms of assessing the safety of urbanized industrial areas and economic objects. The main emphasis is put on the environmental management of territorial techno-natural complexes based on intersectoral approach with account for the vast diversity and complexity of their natural determinants and on mathematical GIS modeling-based forecasting of poorly predictable events. Taken into consideration are the most important parameters of water regime, including its spatiotemporal distribution, production rates, aqueous flora and fauna and other organic matter decay, and, as a result, of the general conditions of water and of aqueous ecosystem bioproductivity. Treating these parameters using mathematical models of convection-diffusion transfer and transformation of substances makes it possible to determine their direct and indirect as well as immediate and delayed impacts on the abiotic and biotic components of aqueous ecosystems.

Keywords: environmental and technological rate setting, geoinformation system, intersectoral rate setting, monitoring, expert judgment.

Сокращения:

БГД	– база геоданных
ВН	– выше нормы
ГИС	– геоинформационная система
ЗВ	– значительно выше нормы
ЗН	– значительно ниже нормы
ИИС	– информационно-измерительная система
ИС	– инженерная система
КДП и ПВ	– конвективно-диффузионный перенос и превращения веществ
ЛПВ	– лимитирующий показатель вредности
Н	– норма
НДВ	– норма допустимого воздействия на водные объекты
НДС	– норма допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты
НДТ	– наилучшие доступные технологии
НН	– ниже нормы
ОБУВ	– ориентировочный безопасный уровень воздействия
ОДУ	– ориентировочно допустимый уровень
ПДК	– предельно допустимая концентрация
РИС СО	– ранжирование ИС по степени опасности
СЗТП	– система защиты территории от подтопления
СКИОВО	– схема комплексного использования и охраны водных объектов
ТПТК	– территориальный природно-технический комплекс
ТС	– техническая система
ФМ	– функциональная модель
ЧВ	– чрезвычайно выше нормы

Введение

Реализуемая в России концепция устойчивого развития в последнее десятилетие привела к изменениям водного законодательства. Это, в свою очередь, предопределило концептуальные изменения как методов, так и средств оценки всех видов техногенного воздействия на водные объекты, а также вредного воздействия вод. В основу современной концепции устойчивого водопользования с поддержанием экологически безопасного состояния водных объектов положена модель комплексного управления устойчивостью речного бассейна. Научно-обоснованная водохозяйственная политика и стратегия развития водного хозяйства, в первую очередь, связаны с необходимостью учета особенностей отраслевых направлений водопользования и возможностями природных экологических систем. С этой целью необходимо реализовать новые принципы эколого-технологического межотраслевого нормирования техногенной нагрузки для бассейна или отдельной его части¹ [17, 29, 31]. В настоящей работе авторы применяют регионально-бассейновый

¹ Водная стратегия РФ на период до 2020 г. Распоряжение Правительства РФ; 27.08.2009 № 1235-р. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91329/

подход и межотраслевой принцип нормирования техногенного воздействия.

При реализации бассейнового принципа эколого-технологического нормирования нагрузки на водные объекты на основе действующих указаний по разработке проектов «Норм допустимого воздействия на водные объекты» (НДВ) и «Схем комплексного использования и охраны водных объектов» (СКИОВО), а также «Нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (НДС) необходимо совершенствовать и поэтапно внедрять научное, законодательное, нормативно-методическое, информационное, программное и проектное обеспечение функционирования территориальных природно-технических комплексов (ТПТК), включающих водные объекты (водохозяйственный комплекс), промышленные предприятия, жилищно-коммунальные хозяйства, сельскохозяйственные производства, гидротехнические сооружения и хозяйственные объекты [3, 8, 18, 21].

Бассейновым комитетом для ТПТК формируются цели и задачи управления водными ресурсами, а также оценивается по интегральным или комплексным показателям состояние водных объектов (водный кадастр), определяется и формулируется целевая функция – каким должен стать водный объект, – и на основании этого определяется комплекс мероприятий для достижения поставленных целей. В рамках проекта (СКИОВО) для предотвращения негативных воздействий разрабатываются фундаментальные (базисные) мероприятия, институциональные мероприятия, мероприятия по улучшению оперативного управления, структурные мероприятия (по строительству и реконструкции сооружений).

На бассейновом уровне могут быть реализованы мероприятия по:

- бассейновому планированию и координации водохозяйственной деятельности;
- организации работ по реализации бассейновых программ и схем комплексного использования и охраны водных ресурсов;
- предупреждению и ликвидации последствий вредного воздействия вод;
- координации работ по ведению мониторинга водных объектов, гидротехнических сооружений и паводкосносных территорий, водного реестра, регистра гидротехнических сооружений, контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов;
- стимулированию рационального использования и охраны водных ресурсов, наземных и водных экосистем.

Ликвидация имеющихся разрывов между обширной законодательной базой нормирования и техногенным воздействием на водные объекты и информационно-техническим и программным обеспечением этой базы при

решении практических задач требует новых методов и соответствующих методик для поддержки принятия управляющих решений. Это особенно четко проявилось при экспертной оценке результатов государственной экологической экспертизы множества региональных проектов НДВ и СКИОВО за последние 4 года. Указанные выше проблемы в той или иной степени были отмечены государственной комиссией практически в каждом проекте. Отмечено, что в отдельных проектах нереальные нормы и цели приводят к нереализуемым программам и проектам. Это показывает необходимость развития регионально-бассейновых межотраслевых, информационно-аналитических центров, которые обеспечили бы сопровождение дорогостоящих бассейновых проектов НДВ и СКИОВО на стадии разработки технических заданий на реальной информационной основе, непосредственно при разработке проектов; а для СКИОВО особенно важно выполнить сравнительную социально-экономическую оценку вариантов программ мероприятий, в том числе реальную оценку финансовых затрат, объемов экономии водных ресурсов, объемов предотвращенных ущербов и других выгод, и улучшения качества жизни в рассматриваемом бассейне, экологическую и социальную приемлемость каждого из вариантов программы мероприятий и мероприятий в основе программы. При этом комплексная (интегральная) оценка каждого варианта программы мероприятий осуществляется с учетом финансово-экономических, экологических и социальных факторов. Особое внимание должно быть уделено обоснованию реальности их поэтапной реализации в установленные сроки на основании оценок имеющихся водных ресурсов, финансовых ресурсов, промышленного, интеллектуального, социального, культурного и кадрового потенциала, территории рассматриваемого бассейна.

На основе имеющейся базы данных и базы знаний по бассейну разрабатываемая система индикаторов достижения устанавливаемых целевых показателей должна учитывать объективную временную задержку эффекта от реализации водохозяйственных и водоохраных мероприятий.

В соответствии с предлагаемой концепцией разработана категорийно-понятийная матрица функционирования территориального природно-технического комплекса (табл. 1).

Обеспечение единства измерений при формировании оценок состояния природных объектов

Заведующий кафедрой информационно-измерительных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ профессор В.В. Алексеев основал научную школу, одно из научных направлений которой связано с проблемой измерений в экологии [1–3].

В современных информационно-измерительных системах (ИИС), контролирующих состояние природных объектов, важной задачей является получение достоверных характеристик. Разнообразие природных объектов определяет сложность контроля и оценки их состояния. Исходной информацией для формирования оценок являются результаты контроля характеристик в различных средах (результаты измерения уровня радиации, концентрации примеси вредных веществ, площади загрязнения и др.).

Для обеспечения метрологической сопоставимости результатов контроля различными средствами измерений их свойства принято выражать в виде неопределенности, которая представляет собой интервальную оценку. Особое внимание автор со своими учениками уделяет вопросу получения достоверных оценок состояния природных объектов на основе контрольных измерений физических величин, предлагая алгоритмы построения шкал на единой метрологической основе для простых, интегральных и сложных оценок [8].

В качестве простой оценки рассматривается результат измерения, который представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Степень достоверности (неопределенности) полученного результата зависит от: погрешностей средств измерений, используемого измерения, принятой модели процесса (погрешность неадекватности модели). Суммарная погрешность полученной оценки характеризуется математическим ожиданием (в случае смещенной оценки) и законом распределения случайной составляющей $p(x^*)$.

Качественные отношения представлены в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями: 0–1 – нет, 1–2 – значительно ниже нормы (ЗН), 2–3 – ниже нормы (НН), 3–4 – норма (Н), 4–5 – выше нормы (ВН), 5–6 – значительно выше нормы (ЗВ), 6–7 – чрезвычайно выше нормы (ЧВ) [1, 8].

Интегральная оценка имеет несколько подходов объединения простых оценок в интегральный показатель оценки качества или состояния объекта. Все они применяют операцию нормирования для обеспечения возможности объединения результатов контрольных измерений.

Сложная оценка формируется с помощью стандартизированных методик объединения наиболее важных характеристик экосистем или природных объектов. Методики позволяют получить значение показателя качества на основании контрольных измерений. Как правило, шкалы этих оценок носят специфический характер и не нормированы. Это затрудняет применение этих оценок для более сложного анализа и получения интегральных показателей качества [6].

Рассмотренные алгоритмы являются метрологической основой для современных ИИС мониторинга природных объектов. Важнейшим при получении оценок

**Категорийно-понятийная матрица функционирования
территориального природно-технического комплекса**

Объект воздействия	Результат (объект)			
	Вещественно-энергетический			Экономический
	Водный режим	Санитарно-химический режим	Гидробиологический режим	
Среда: социальная, техническая, экономическая	Влияние социальной, технической и экономической сред на процесс формирования качества водной среды с учетом конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ для ТПТК			
гидрологическая, биологическая, санитарно-химическая	Процесс КДП и ПВ, банк гидрологических, гидрохимических, гидробиологических данных на основе ГИС		Прогноз водности рек и качества воды в меженные периоды. Алгоритм анализа ситуации	Комплексное водообеспечение ТПТК
Человек, принимающий управленческие решения	Роль человека в регулировании вещественно-энергетическими и биологическими процессами на основе имитационного моделирования ТПТК с учетом природных и техногенных факторов		Роль человека в природоохранных мероприятиях (ПОМ) регионального межотраслевого уровня	Роль человека в эколого-экономической оптимизации природопользования
Материал	Влияние ресурсов на вещественно-энергетический режим и на рыбное хозяйство, биотический баланс водной экосистемы и ее аккумулирующая емкость		Влияние ресурсов на сохранение экологического равновесия и механизмов саморегуляции	Роль ресурсов в экономике природопользования
Информация	Банк данных о гидрологическом, санитарно-химическом и гидробиологическом режимах водного объекта (ВО) на основе систематических наблюдений и экспериментов		Информация о состоянии водного объекта и отраслевых технологических стандартов	Информация об эколого-экономической оптимизации «ТПТК-ВО»
Модель	Уравнения математической физики (КДП и ПВ), теория оптимизации принятия решений, математическая статистика		Нормирование НДС стоков и НДС на водный объект	Экономико-математическое и геоинформационное моделирование
Время	Неустановившийся процесс КДП и ПВ с учетом характерного масштаба времени		Реальные или синтезированные данные о параметрах СКИОВО	Эволюция технологических и экономических решений

Объект воздействия	Результат (объект)			
	Вещественно-энергетический			Экономический
	Водный режим	Санитарно-химический режим	Гидробиологический режим	
Управление	Детерминированные, стохастические и динамические модели		Управление ПОМ с минимальным числом альтернативных решений и максимальным количеством учитываемых показателей	Экономическая оптимизация
Система водоотведения: регулируемая	Изменение массы вещества в стоках за счет изменения эффекта очистки и режима сброса		Влияние типа и режима водоотведения на обеспечение технологических норм	Потенциально оптимальные капиталовложения
нерегулируемая	Водоотведение стоков с заданной степенью очистки		На основе модели стационарного режима	Амортизация капитальных затрат
Природоохранный комплекс	Процесс взаимодействия системы «предприятие-водный объект» в рамках ТПТК		Влияние параметров стоков и водного объекта на режим водоотведения	Оптимальные капиталовложения для достижения бассейновых НДС и индивидуальных НДС

является их достоверность. Поэтому в ИИС основное внимание уделяется алгоритмам получения результатов контроля, вопросам надежности определения оценок объектов, идентификации нештатных, предаварийных и аварийных ситуаций, вопросам получения простых и сложных оценок как основы предупреждения чрезвычайных ситуаций в природных экологических системах.

В работах проф. В.В. Алексеева и его учеников широко представлены алгоритмы построения нормированных шкал для простых, интегральных и сложных оценок природных объектов [4, 5, 7, 8, 11, 12], часть из которых использована в настоящей работе в разделе защиты территорий от подтопления.

В соответствии с Водным кодексом РФ и внесенными в него изменениями в 2015 г., а также отдельными законодательными актами Российской Федерации для основных водных бассейнов предусматривается совершенствование и внедрение системы нормирования сброса сточных вод, основанной на нормативах допустимых воздействий (НДВ) на водные объекты, учитывающих региональные (природные) особенности формирования качества вод, их целевое использование и текущую совокупную антропогенную нагрузку.

Кроме того, приоритетным направлением Водной стратегии РФ по развитию водохозяйственных комплексов (ВХК) является совершенствование системы государственного управления ВХК, включая совершенствование нормативной, правовой базы, а также программных средств и новых методов в сфере использования и охраны водных объектов. В первую очередь это относится к разработке НДС на поверхностные водные объекты и в определении допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей, то есть в определении условий отведения сточных вод.

Нормирование качества воды заключается в установлении совокупности допустимых значений показателей состава и свойств воды водных объектов, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта.

Нормирование условий отведения сточных вод для каждого водопользователя сводится к расчету величины НДС, которая является определяющим фактором экономического воздействия на водопользователей в целях повышения эффективности использования

водных ресурсов и степени очистки сточных вод. Их разработка в настоящее время осуществляется на основании «Методики разработки НДС веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» [21, 33–35].

Согласно п. 20 указанной Методики НДС должны разрабатываться на основе и в соответствии с НДВ на водные объекты, подготовленными на основании «Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» [25].

Однако применение указанных нормативных документов при реализации проектов нормативов допустимых воздействий и схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) на уровне государственной экологической экспертизы выявило ряд существенных недостатков, связанных с их недоработкой и неоднозначным толкованием отдельных положений водного законодательства, правовых и нормативно-методических документов, регламентирующих разработку указанных проектов.

В табл. 2 и 3 в соответствии с категорийно-понятийной матрицей таблицы 1 авторами структурированы определения технологического нормирования для производств и экологического нормирования для окружающей среды.

Анализ разработанных в настоящее время проектов НДВ и СКИОВО для водных объектов различных регионов показал необходимость дополнительно к действующим методикам разработать:

критерии и порядок определения категории водного объекта по степени трансформации от естественных условий (природный, сильно измененный, искусственный водный объект);

методику по установлению регионального гидрохимического фона для различных типов водных объектов;

методику по выбору перечня приоритетных нормируемых показателей качества воды водных объектов, учитывающих природные особенности водных объектов;

методику перехода от НДВ к НДС на основе установленных квот для отдельных выпусков сточных вод при использовании регионально-бассейнового межотраслевого принципа расчета нормативов сброса.

Наряду с перечисленными проблемами системы нормирования сбросов предписывается устанавливать НДВ на водные объекты и НДС для водопользователей в соответствии с действующими методиками исходя из общенациональных нормативов качества воды (ПДК, ОДУ или ОБУВ химических веществ [24]), зависящих только от вида водопользования и не учитывающих региональные природно-географические условия их формирования и фактическое состояние (антропогенное загрязнение).

При нормировании сбросов в водные объекты нескольких веществ с одним лимитирующим показателем вредности (ЛПВ) достаточно часто допустимые к сбросу концентрации загрязняющих веществ в сточных водах оказываются на порядок ниже ПДК, предъявляемых к качеству воды водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Для того чтобы действующая система нормирования сбросов сточных вод в водные объекты в полной мере решала поставленные перед ней задачи и соответствовала законодательной базе, необходимо усовершенствовать действующие нормативно-методические документы, касающиеся разработки НДВ на водные объекты и НДС для водопользователей. Предлагаемая авторами для территориального природно-технического комплекса (ТПТК) математическая модель конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДПиПВ) и ее модификации для конкретных водоемов [21, 33] с целью расчета НДВ учитывает аккумулирующую емкость водных объектов, а также совокупное воздействие всех сосредоточенных и распределенных источников загрязнения, включая диффузные, на формирование качества поверхностных вод [32, 34, 35].

Применение геоинформационных технологий и систем позволяет перейти к региональному нормированию качества поверхностных вод в зависимости от физико-географических условий их формирования и к разработке НДС на основе бассейнового принципа расчета. Это, в свою очередь, позволит каждому водопользователю использовать определенную долю аккумулирующей емкости и самоочищающей способности водного объекта. До настоящего времени водопользователи, расположенные ниже по течению, несут, как правило, больше финансовых затрат на очистку как сточных, так и природных вод, чем водопользователи, расположенные выше по течению реки.

Реализация новой методики квотирования нагрузки для каждого субъекта территориального природно-технического комплекса позволяет комплексно учесть эколого-технологические критерии нормирования и реализации принципа наилучших доступных технологий (НДТ) для основных технологических и вспомогательных производств [36].

Однако в соответствии с расчетными квотами нагрузки на водный объект в рамках НДВ каждый водопользователь должен платить только за собственное загрязнение водных объектов.

Опыт разработки проектов бассейновых НДВ для различных регионов России показал необходимость разработки специальной методики выбора перечня приоритетных нормируемых целевых показателей качества воды водных объектов, учитывающей природные особенности водных объектов и все виды водопользования.

Основные характеристики экологического стандарта технологического процесса производства для отдельного вида продукции и норматива качества окружающей среды

«Технологическое нормирование» – экологический стандарт технологического процесса	Нормирование окружающей среды
Предмет нормирования	
Количество вредных веществ, которые могут быть допущены к попаданию в водную среду от данного технологического процесса производства определенного вида продукции, вследствие использования апробированных в мировой практике инженерных технических и технологических решений	Структурные гидрохимические и гидробиологические показатели качества природных вод и донных отложений, а также интегральная оценка токсичности воды
Количество нормируемых показателей	
Должно быть достаточным для оценки уровня прогрессивности, принятого водопользователем технологического процесса, соответствующего с точки зрения загрязнения окружающей среды определению «наилучшей доступной технологии»	Должно быть достаточным для того, чтобы отследить процессы, происходящие в водном бассейне, как по гидрохимическим, так и по гидробиологическим показателям с целью обеспечения устойчивости гидроэкосистемы
Номенклатура нормируемых показателей	
Должны использоваться интегральные показатели, характеризующие тенденцию сокращения сброса вредных веществ путем внедрения водопользователем новых прогрессивных технологических процессов с наименьшими потерями в водную среду используемых в технологическом процессе сырья, химикатов, продуктов переработки	<p>1. По гидрохимическому блоку:</p> <ul style="list-style-type: none"> – общефизические показатели и показатели неорганических веществ; – общие показатели органических веществ; – показатели неорганических промышленных загрязняющих веществ. <p>2. По гидробиологическому блоку:</p> <ul style="list-style-type: none"> – показатели обилия организмов; – характеристики качественного состава; – пространственно-временное распределение; – биотические взаимодействия; – структура популяций. <p>(Полная программа контроля по гидробиологическим показателям предусматривает следующие определения: фитопланктон, зоопланктон, зообентос, перифитон, макрофиты.)</p> <p>3. Интегральный показатель токсичности</p>
Цель установления норматива	
Побудить водопользователя к внедрению прогрессивных технологических процессов с минимальным загрязнением окружающей среды, соответствующих определению «наилучших доступных технологий»	Обеспечение устойчивости гидроэкосистемы и сохранение способности ее саморегуляции за счет компенсационных механизмов. Оптимальное использование экологической емкости гидроэкосистемы и ее экологического потенциала. Поддержание самоочищающей способности гидроэкосистемы
Для чего нормативы используются	
Для управления качественными характеристиками водного объекта и прогнозирования его состояния. В перспективе нормативы должны использоваться как экономический рычаг государственного регулирования качества водных объектов, реализуемый путем взимания платежей за загрязнение окружающей среды	Для обеспечения заданных стандартов качества поверхностных вод в створах в соответствии с категорией водопользования и поддержания гидроэкосистемы на гомеостатическом плато. Для распределения квот нагрузки между всеми водопользователями и для регулирования сброса загрязняющих веществ с целью эффективного использования биологических, химических и физических процессов самоочищения. Сегодня нормативы используются для осуществления механизма платежей за загрязнение поверхностных вод



Уровни экологического стандарта

Экологический стандарт технологии*		
Текущий		Перспективный
Существующий	Возможный	
Количество загрязнений, поступающих в окружающую среду, соответствует фактическому состоянию производства	Количество загрязнений, поступающих в окружающую среду, соответствует техническому уровню оборудования, установленному на производстве	Количество загрязнений, поступающих в окружающую среду, соответствует техническому уровню оборудования, отвечающему понятию «наилучшей доступной технологии»
Норматив качества окружающей среды		
Текущий		Целевой
Существующий	Возможный	
Временно сформировавшийся норматив качества окружающей среды под воздействием водопользователей, работающих при несоблюдении технических условий работы установленного на предприятии оборудования	Временно установленный норматив качества окружающей среды, формирующийся под воздействием водопользователей, работающих при соблюдении технических условий работы установленного на предприятии оборудования	Временно установленный норматив качества окружающей среды, формирующийся под воздействием водопользователей, использующих оборудование и технологии, отвечающие «наилучшим доступным технологиям»
<p>* Следует различать три уровня экологических нормативов технологий:</p> <p>«текущий существующий» соответствует удельному количеству загрязнений на единицу вырабатываемой продукции, попадающих в окружающую среду, при фактическом состоянии производства;</p> <p>«текущий возможный» соответствует удельному количеству загрязнений, попадающих в окружающую среду на единицу вырабатываемой продукции, который определяют исходя из технического уровня оборудования, установленного на существующем производстве;</p> <p>«перспективный» соответствует удельному количеству загрязнений, попадающих в окружающую среду на единицу выпускаемой продукции, который определяют исходя из технического уровня оборудования, отвечающего понятию «наилучшей доступной технологии».</p>		

В работе предложена структура функциональной модели (рис. 1) для определения бассейновых норм допустимого воздействия (НДВ) и индивидуальных норм допустимых сбросов (НДС) на основе частного моделирования для конечных участков и видов воздействия с применением геоинформационного комплекса («ГИМС – река»)², позволяющих для различных сценариев развития гидрометеорологической и водохозяйственной обстановки моделировать: гидрологические процессы формирования речного стока; функционирование водохозяйственных систем; изменение количественных и качественных показателей состояния водных объектов, затопления и подтопления территорий.

² Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ 2009615259, Российская Федерация. REG_SOST / Шишкин АИ, Елифанов АВ, Антонов ИВ, Алексеев ВВ, Куракина НИ, Желтов ЕВ. Правообладатель: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. № 2009615259; дата поступления: 07.08.2009; дата регистрации: 23.09.2009.

Функциональная модель (ФМ) территориального природно-технического комплекса позволяет взаимно увязать интересы всех субъектов ТПТК на единой законодательной базе по всему речному бассейну или его участку в соответствии с гидрографическим и водохозяйственным районированием. В рамках ФМ обеспечивается устойчивое функционирование естественных или сложившихся экологических систем, при минимизации последствий антропогенных воздействий, с учетом природно-климатических особенностей водных объектов данного региона. ФМ позволяет регламентировать в пределах отдельных водохозяйственных участков изменения хозяйственной деятельности и соответственно природно-техногенной обстановки с заданным временным шагом. На рис. 2 приведена более детальная геоинформационная структура взаимодействия основных элементов территориально-бассейновой системы. Техническое и программное обеспечение этой системы позволяет на бассейновом уровне с современным межотрасле-

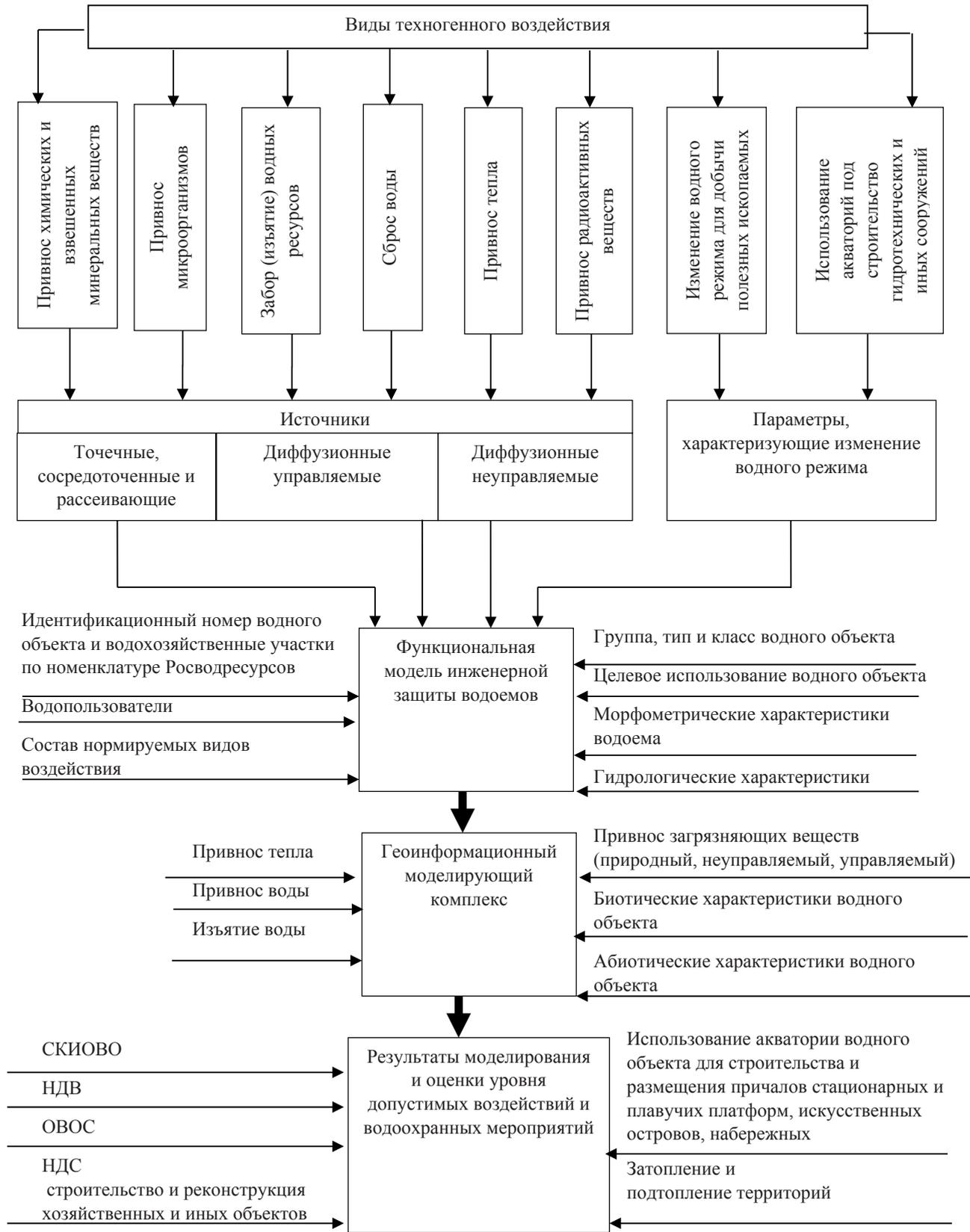


Рис. 1. Схема функциональной модели защиты водных объектов от техногенных воздействий

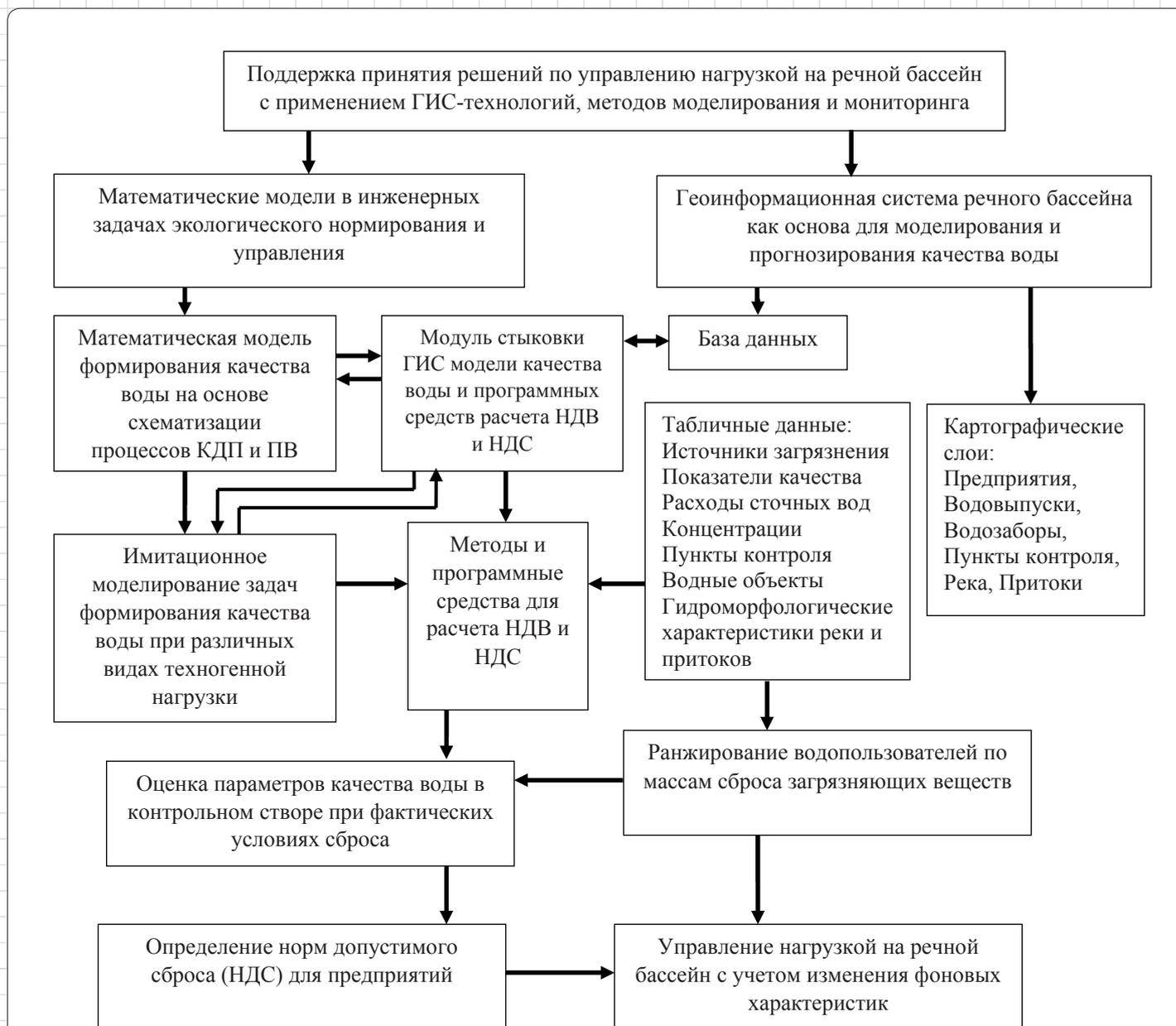


Рис. 2. Геоинформационная структура взаимодействия территориально-бассейновой системы «водный объект – производственно-технический комплекс» для нормирования допустимого уровня воздействия

вым подходом квотировать нормативы допустимых сбросов в рамках схемы комплексного использования и охраны водных объектов. Имитационное моделирование на геоинформационной основе позволяет оценивать влияние на состояние водных объектов проектов размещения, строительства и реконструкции хозяйственных и иных объектов на перспективу развития хозяйствования и текущий период времени в современных условиях. Далее будет более детально рассмотрена проблема подтопления или затопления хозяйственных объектов.

Защита территорий от подтопления

В соответствии с действующими нормативно правовыми документами и статьями 65 и 117 Водного кодекса и статьями 10, 14, 23, 42, 48 Градостроительного кодекса РФ необходимо предупреждение и ликвидация последствий вредного воздействия вод, вызванных, в частности, подтоплением градпромышленных территорий, хозяйственных объектов и сельскохозяйственных угодий, включая заболачивание. Для обоснования проведения защитных мероприятий, сроков и очередности их строительства, а также для опре-

деления эффективности инвестиций, направленных на финансирование работ по защите территорий от негативных воздействий, связанных с подтоплением территорий, в дополнении к действующим «Методическим рекомендациям по оценке уровней безопасности, риска и ущерба от подтопления градопромышленных территорий» [26, 39] разработана «Методика формирования геоинформационных проектов оценки состояния инженерных сооружений, защиты территорий от подтопления и поддержки принятия управленческих решений» [9, 13, 22]. Она позволяет создать модель представления результатов инвентаризации для получения оценок состояния инженерных сооружений системы защиты территорий от подтопления (ИС СЗТП), включая результаты контроля и значение неопределенности, координаты точек контроля в пространстве и времени, расчетную и контрольно-методическую информацию, атрибутивную геоинформацию, и обеспечивает получение достоверных результатов анализа в автоматическом режиме. Разработаны алгоритмы формирования простых и сложных нормированных оценок по результатам измерений и экспертных оценок, методика формирования комплексной оценки на основе ГИС, а также методика ранжирования ИС СЗТП по степени опасности затопления территорий и возможному ущербу.

Алгоритмическое обеспечение задач формирования оценок состояния территорий и ИС СЗТП в ГИС-технологии

Оценка состояния ИС СЗТП может быть сформирована на основании прямых характеристик (измерений) состояния инженерных сооружений (мелиоративная сеть, каналы, колодцы, переезды и др.) и косвенных характеристик (измерений) состояния (степени подтопления) территорий и экологического состояния территорий.

Анализируемые объекты – ТС и ИС СЗТП – являются сложными и многофункциональными, а их характеристики, связанные с целевым применением территории, многопараметрическими. Рассмотрим алгоритмы получения простых и сложных оценок на базе нормированных шкал на основе ГИС.

Одним из основных показателей ТС является водный баланс, который определяет условия существования и развития системы. Водный баланс подразумевает сложную оценку, которая включает характеристики всех источников поступления воды в ТС, характеристики всех отводящих воду систем, характеристики всех систем потребления воды, а также структуры взаимодействия этих систем (подводящих, отводящих, потребления). Все перечисленные характеристики определяются состоянием ИС СЗТП, которое описывается многими параметрами. Важным показателем для ТС является ее экологическое состояние.

Для оценки состояния ТС и ИС СЗТП, как правило, используются результаты их обследований (инвентаризации):

- результаты измерений (простые оценки);
- результаты экспертных оценок;
- результаты анализа измерений нескольких оценок (сложные оценки);
- результаты анализа совокупности измеренных оценок и экспертных оценок (комплексные оценки).

Для получения простых и сложных оценок на единой метрологической основе в виде нормированного пространства оценок в ГИС-технологии необходимо соответствующее методическое и алгоритмическое обеспечение.

Получение оценок физического и экологического состояния территорий и ИС СЗТП по результатам контрольных измерений на основе ГИС

Реальные характеристики территорий и ИС СЗТП устанавливаются в результате инвентаризации территории, проведения контрольных измерений. Виды реальных характеристик соответствуют видам естественных (географических) и расчетных (идеальных). Они направлены на оценивание состояния территории и как следствие состояния ИС СЗТП. Оценка состояния инженерных сооружений связана с получением достоверной информации на основании контрольных измерений и экспертных оценок состояния канала как основного элемента системы. Результат измерения представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Для получения достоверных характеристик на базе различных оценок все результаты приводятся к нормированной шкале [10, 13, 14, 16, 37, 38].

Получение оценок физического состояния территорий по результатам контрольных измерений

Оценка состояния территории ω_6^* формируется на базе измерений и экспертных оценок (обследований):

- ω_{61}^* – осушено, км²;
- ω_{62}^* – подтоплено, км²;
- ω_{63}^* – заболочено, км²;
- ω_{64}^* – поле, км²;
- ω_{65}^* – кустарники, км²;
- ω_{66}^* – лес, км²;
- ω_{67}^* – прочие.

Оценка носит вероятностный характер. Пример оценки приведен на рис. 3.

Необходимое условие при формировании оценки:

$$\sum_1^j \omega_{6j}^* = 100\%$$

Состояние территории

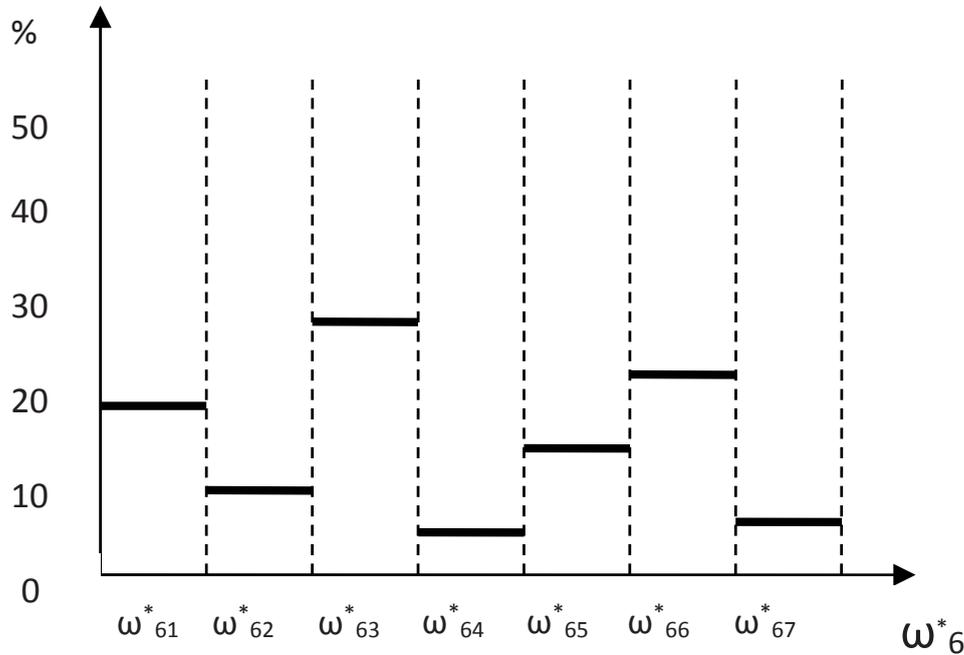


Рис. 3. Оценка состояния ТС

Приведенная на рис. 3 оценка не имеет явно выраженного значения. Она требует дополнительных исследований.

Оценка уровня урбанизации территории

$$\omega_7^* = \frac{S_y}{S_G^*}$$

определяется с помощью экспертных оценок и результатов измерений в ГИС после нанесения информации на карту. На рис. 4 приведен пример оценки уровня урбанизации двух территорий G_1 и G_2 .

Оценка уровня подтопления определяется для каждого класса территории (связаны с классификацией) $\omega_8^* - h_{нт}$, м;

h – нормальный уровень воды, м.

Реальное значение оценки степени подтопления ω_8^* :

ω_{81}^* – значительно ниже (ЗН) нормы h , м;

ω_{82}^* – ниже нормы (НН) h , м;

ω_{83}^* – норма (Н) h , м;

ω_{84}^* – выше нормы (ВН) h , м;

ω_{85}^* – значительно выше (ЗВ) нормы h , м.

Она формируется на базе серии измерений с определенной точностью и поэтому носит вероятностный характер.

При этом для определения состояния подтопленной территории выбрана нормированная шкала, в основе которой лежат качественные понятия (значения).

На рис. 5 показана схема формирования оценки уровня подтопления территории на основании ряда контрольных измерений.

На рисунке: h_i^* – i -й результат контрольных измерений уровня подтопления, $p(h)$ – плотность распределения вероятностей погрешностей измерений, проводимых с заданной точностью; $\omega_{8норм}^*$ – ось нормативных значений уровня воды для конкретной ТС; $\omega_{8норм}^*$ – ось качественных нормированных значений с равными коридорами; $p(\omega_8^*)$ – значения вероятностей, с которыми результаты измерений попадают в соответствующий коридор качественной нормированной шкалы,

$$p(\omega_8^*) = \int_{h_{i-1}}^{h_i} \alpha \cdot f(h_i^*) dh, i = 1 \div 5, \sum_i p(\omega_{8i}) = 1,0; (1)$$

α – коэффициент пересчета нормативных значений шкалы измерений в нормированную качественную шкалу оценки ω_8 .

Аналогичным способом могут быть получены нормированные значения других характеристик ТС. В результате будет получено множество оценок контрольных измерений параметров состояния территории – $\Omega = \{\omega_{\theta}^*\}$. Для удобства описания и анализа всего множества контролируемых параметров территорий и ИС обозначим эти оценки как: $X_T = \{x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{T\theta}^*, \dots, x_{T\theta}^*\}$, где $\theta = 1, \theta$ – индексы контролируемых параметров.

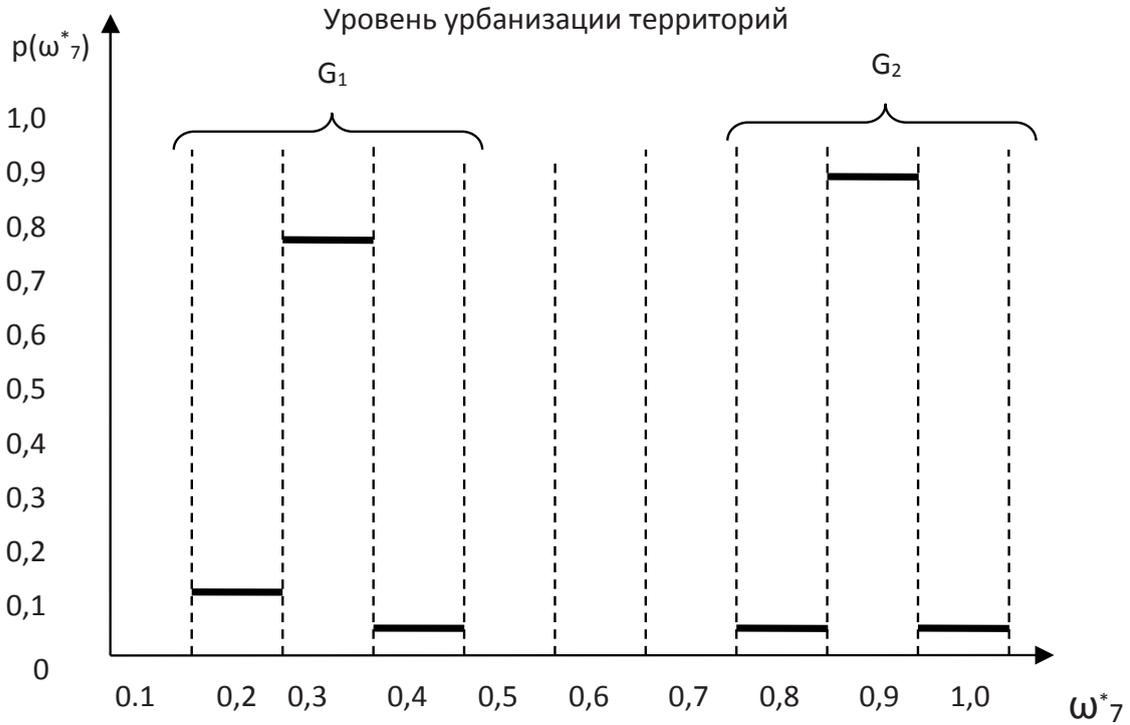


Рис. 4. Пример оценок уровня урбанизации территорий G_1 и G_2

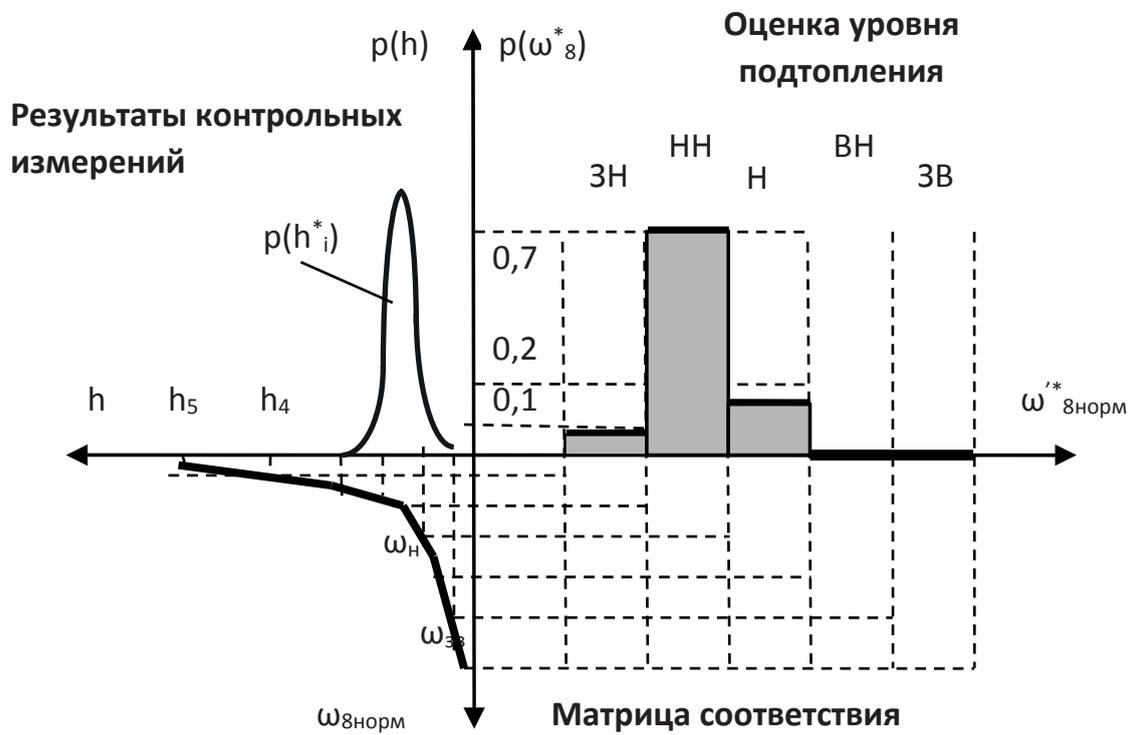


Рис. 5. Схема формирования оценки уровня подтопления территории по результатам контрольных измерений h^*_i

Получение оценок экологического состояния территорий по результатам контрольных измерений

Оценка экологического состояния территорий является важной составляющей в общей оценке, так как косвенно, интегрально указывает на регулирование водного баланса территории, состояние системы мелиорации и водоотведения с анализируемой территории. Экологическая оценка имеет свою специфику, которая заключается в том, что она формируется относительно нормативной базы допустимых значений содержания веществ в воде, почве, растениях и др.

Так же как и в предыдущем случае, результат измерения представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Степень достоверности (неопределенности) полученного результата [22, 23, 40] зависит от погрешности средства измерения (инструментальная составляющая), от влияющих воздействий, метода измерения, неадекватности принятой модели процесса. Суммарная погрешность полученной оценки характеризуется математическим ожиданием (в случае смещенной оценки) и законом распределения случайной составляющей $p(x^*)$. Закон распределения погрешности в большинстве случаев имеет сим-

метричную форму. Поэтому доверительный интервал оценки может быть определен как $x^* \pm g\sigma_x$.

На практике применяют несколько способов построения нормированной шкалы для оценки результатов измерений [5].

Приведение контрольных измерений к нормированной качественной шкале оценок состояния природных объектов территориальной системы

Плоскость соответствия нормированных значений контрольных измерений и значений шкалы качественных оценок показана на рис. 6.

Концентрация вредного вещества, нормированная относительно предельно допустимой концентрации (ПДК), представлена в логарифмическом масштабе, так как благоприятная ситуация может быть только при малых концентрациях, то есть до ПДК, а опасная зависит от степени превышения ПДК в некоторое число раз.

Качественная оценка представлена в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями $x_{Т\Theta}^* = \{\text{Нет}, \text{ЗН}, \text{НН}, \text{Н}, \text{ВН}, \text{ЗВ}, \text{ЧВ}\}$: 0–1 – Нет, 1–2 – значительно ниже нормы (ЗН), 2–3 – ниже нормы (НН), 3–4 – норма (Н), 4–5 – выше нормы (ВН), 5–6 – значительно выше нормы (ЗВ), 6–7 – чрезвычайно высокая (ЧВ).

Значение контролируемой величины на нормированной шкале качественных отношений может быть

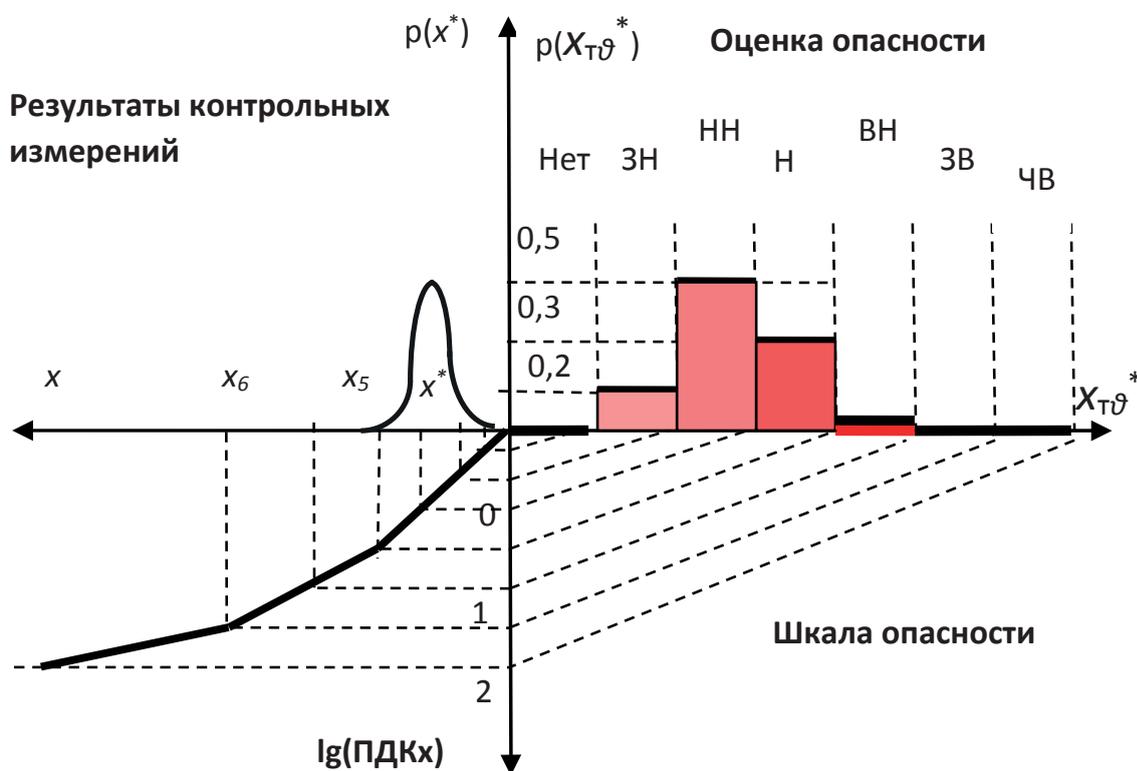


Рис. 6. Плоскость соответствия результата контрольных измерений и значений качественной оценки нормированной шкалы

определено как вероятность нахождения результата контрольного измерения в соответствующем интервале концентраций, как показано на рис. 6.

Вероятность принятия того или иного значения качества может быть определена как

$$p_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} p(x^*) dx, i = 1 \div 7.$$

Предположим, что результатом контрольных измерений стало $x^* = x_3 \pm k\sigma = x_3 \pm 0,5x_3$. Результаты интегрирования имеют значения (см. рис. 6):

$$p_1 = \int_{x_0}^{x_1} p(x^*) dx = 0,0, p_2 = \int_{x_1}^{x_2} p(x^*) dx = 0,19, p_3 = \int_{x_2}^{x_3} p(x^*) dx = 0,5,$$

$$p_4 = \int_{x_3}^{x_4} p(x^*) dx = 0,3, p_5 = \int_{x_4}^{x_5} p(x^*) dx = 0,01, p_6 = \int_{x_5}^{x_6} p(x^*) dx = 0,0,$$

$$p_7 = \int_{x_6}^{x_7} p(x^*) dx = 0,0.$$

Приведение шкалы нормированных значений измеряемой величины к качественной оценке. Например, для шкалы качественных оценок (рис. 6) вероятность принятия того или иного значения качественной оценки может быть определена как

$$p_i = \int_{x_{i-1,n}}^{x_{i,n}} p(x_n^*) dx_n, i = 1 \div 7$$

На рис. 7 показан пример формирования шкалы нормированных значений результатов измерений и сопоставления ее со шкалой качественных оценок значений измеряемой величины (оценки состояния территории) и разбиение ее на интервалы качественной оценки $x_{T\theta}^* = \{\text{Нет}, \text{ЗН}, \text{НН}, \text{Н}, \text{ВН}, \text{ЗВ}, \text{ЧВ}\}$. На рис. 7 матрица нормирования представляет собой диагональную матрицу, α – коэффициент нормирования.

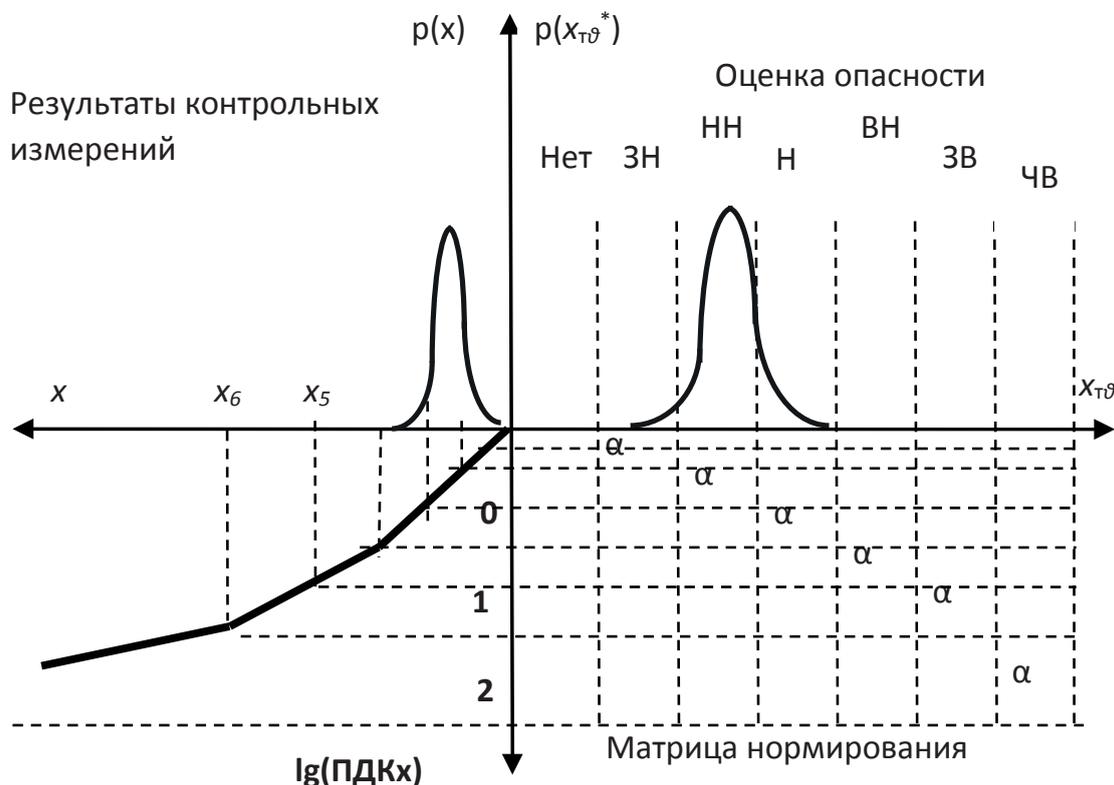


Рис. 7. Пример формирования шкалы нормированных значений результатов измерений и сопоставления ее со шкалой качественных оценок

Результаты значений качественной оценки по нормированной шкале измеряемой величины будут определяться следующим образом:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \int_{x_{0,H}}^{x_{1,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,0, p_2 = \int_{x_{1,H}}^{x_{2,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,1, p_3 = \\
 &= \int_{x_{2,H}}^{x_{3,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,7, \\
 p_4 &= \int_{x_{3,H}}^{x_{4,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,2, p_5 = \int_{x_{4,H}}^{x_{5,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,0, p_6 = \\
 &= \int_{x_{5,H}}^{x_{6,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,0, \\
 p_7 &= \int_{x_{6,H}}^{x_{7,H}} p(x_H^*) dx_H = 0,0.
 \end{aligned}$$

Однако при получении оценки природных объектов часто используют результат измерений не одного показателя, а нескольких – интегральную оценку.

Получение шкалы нормированных значений интегральных оценок возможно с помощью нескольких методик. Рассмотрим основные из них.

Нормирование путем деления на ПДК является стандартным для получения комплексных оценок в воздушной и водной средах [14, 33, 34] при объединении результатов измерений концентрации веществ:

$$C_H = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (2)$$

где: C_i – концентрация анализируемого вещества, ПДК_i – его предельно допустимая концентрация, N – количество контролируемых веществ.

Однако такой подход неприменим для характеристик, не имеющих значения ПДК.

Приведение каждого результата к нормированной шкале качественной оценки [6] позволяет формировать комплексную оценку, объединяя разные характеристики. При этом необходимо построение плоскости нормирования для каждого параметра и объединения параметров на уровне нормированной качественной шкалы:

$$p_k = \left(\sum_{i=1}^n x_{ki} \right) / \left(\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n x_{ki} \right), \quad \sum_{k=1}^K p_k = 1, \quad (3)$$

где: i – номер контролируемого параметра; n – количество контролируемых параметров; k – номер коридора шкалы нормированного пространства; K – число коридоров; p_k – вероятность нахождения полученной

нормированной оценки в k -м коридоре, то есть вероятность нахождения контролируемого объекта в k -м состоянии (качестве).

Получение интегральной оценки может производиться путем суммирования взвешенных в соответствии с их значимостью нормированных параметров в соответствии с выражением:

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k x_k, \quad (4)$$

где: a_k – коэффициент значимости суммируемого параметра, который должен удовлетворять требованию:

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k = 1,$$

или выражением:

$$\lambda_1 = \left(\sum_{k=1}^n a_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n a_k x_k. \quad (5)$$

В последнем случае коэффициент a_k может быть любым положительным числом. Граничные значения качественной шкалы вычисляются по данному выражению соответственно значениям граничных значений параметров.

В процессе получения интегральной оценки λ_1 значения частных оценок суммируются, при этом суммируются их случайные составляющие погрешности:

$$\lambda_1^* = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k (\lambda_k \pm g\sigma_x). \quad (6)$$

Таким образом, приведение каждого результата к нормированной шкале качественной оценки позволяет формировать интегральную оценку, объединяя разные характеристики, но при этом необходимо построение плоскости соответствия для каждого параметра для объединения параметров на уровне нормированной качественной шкалы. Для возможности объединения оценок необходимо при формировании шкал обеспечивать их одинаковую направленность и сравнимость – один порядок. Получение интегральной оценки может производиться путем суммирования взвешенных в соответствии с их значимостью нормированных параметров.

Получение шкалы нормированных значений измеряемой величины с масштабированием

Для оценивания состояния природных объектов относительно ПДК используются значения «ниже нормы» (ниже ПДК), «норма» и «выше нормы». Причем «выше нормы», как правило, имеют несколько градаций. «Ниже нормы» обычно представляется одним-двумя участками. В примере (рис. 6) допустимое значение концентрации представляется в виде уровней: нормальное (Н), ниже нормального (НН), значительно ниже нормального (ЗНН), отсутствует (Нет). Для

устранения этого несоответствия представим шкалу оценки результатов контроля в виде двух участков: нормальное состояние и ниже нормы (загрязненное). Участок нормального состояния будет нормироваться в соответствии с абсолютной шкалой, а участок загрязненного – в соответствии с логарифмической шкалой.

На первом участке нормированные значения шкалы вычисляются по выражению:

$$x_{in} = \left(\frac{x_i}{\text{ПДК}_{xi}} \right) 2^{-1}, \text{ при } x_i \leq \text{ПДК}_{xi}. \quad (7)$$

На втором участке нормированные значения шкалы вычисляются по выражению:

$$x_{in} = \left(\frac{1 + x_i}{x_{imax}} \right) 2^{-1} = \left(\frac{x_{imax} + x_i}{x_{imax}} \right) 2^{-1}, \text{ при } x_i > \text{ПДК}_{xi}. \quad (8)$$

В результате получается нормированная шкала, которая отражает весь диапазон событий [11]. При этом значения границ коридоров вычисляются в соответствии с приведенными выражениями, а ширина коридоров имеет значения одного порядка, что соот-

ветствует принятым требованиям. Преобразованная в соответствии с предложенным алгоритмом шкала показана на рис. 8.

На рис. 8: a_{11k} – коэффициент соответствия результата измерения нормированной шкале для допустимых концентраций.

Таким образом, полученная нормированная оценка имеет свою нормированную шкалу и может быть использована при формировании сложных оценок по рассмотренному выше алгоритму.

Рассмотренные алгоритмы обеспечивают получение нормированных значений оценок по результатам контрольных измерений. В результате будет получено множество простых и интегральных оценок состояния территории:

$$X_T = \{x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{T\Theta}^*, \dots, x_{T\Theta}^*, \lambda_{T1}^*, \lambda_{T2}^*, \dots, \lambda_{T\Theta 1}^*, \dots, \lambda_{T\Theta 1}^*\},$$

где $\Theta = 1$, Θ и $\Theta 1 = 1$, $\Theta 1$ – индексы контролируемых простых и интегральных параметров (физические, гидрофизические, химические, биологические и др.).

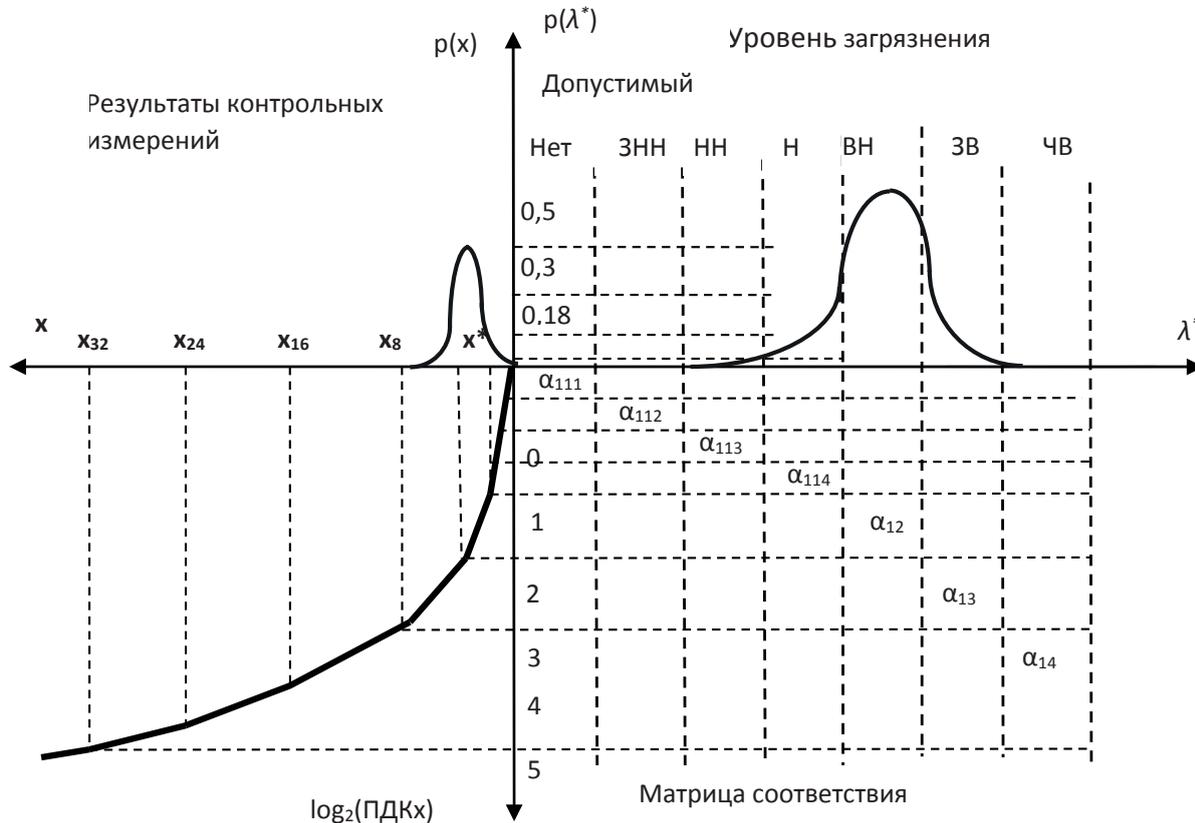


Рис. 8. Схема формирования нормированной шкалы загрязнения с масштабированием на разных участках

Получение оценок состояния ИС СЗТП по результатам контрольных измерений

Состояние ИС СЗТП характеризуется множеством физических величин. Результат контрольного измерения представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Степень достоверности (неопределенности) полученного результата [22, 23] зависит от следующих факторов:

- погрешности средств измерения (инструментальная составляющая от влияющих воздействий);
- используемый метод измерений (методическая составляющая погрешности);
- принятая модель процесса (погрешности неадекватности, динамические и статистические свойства модели).

Суммарная погрешность полученной оценки характеризуется математическим ожиданием (в случае смещенной оценки) и законом распределения случайной составляющей $f(x^*, \sigma)$. Закон распределения погрешности в большинстве случаев имеет симметричную форму, поэтому доверительный интервал оценки может быть определен как $x^* \pm k\sigma$.

Рассмотрим возможный вариант нормирования контрольных измерений как оценки состояния ИС в виде качественной шкалы.

Качественные отношения представим в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями:

- 0–1 – повреждений нет (ПН);
- 1–2 – незначительные повреждения (НП);
- 2–3 – средние повреждения (СП);
- 3–4 – значительные повреждения (ЗП);
- 4–5 – большие повреждения (БП);
- 5–6 – канал разрушен (КР).

Значение контролируемой величины на нормированной шкале качественных отношений может быть определено как вероятность нахождения результата контрольного измерения в соответствующем интервале концентраций. На рис. 9 приведен пример представления результатов измерений x^* в качественной шкале для случая, когда результат контрольных измерений имеет следующие метрологические характеристики: $x^* = x^* \pm k\sigma = x^* \pm 0,5x^*$.

Вероятность принятия того или иного значения качества может быть определена как:

$$p_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx, i = 1 \div 6.$$

Результаты интегрирования имеют значения (см. рис. 9):

$$p_1 = \int_{x_0}^{x_1} f(x^*) dx = 0,01, p_2 = \int_{x_1}^{x_2} f(x^*) dx = 0,18,$$

$$p_3 = \int_{x_2}^{x_3} f(x^*) dx = 0,5,$$

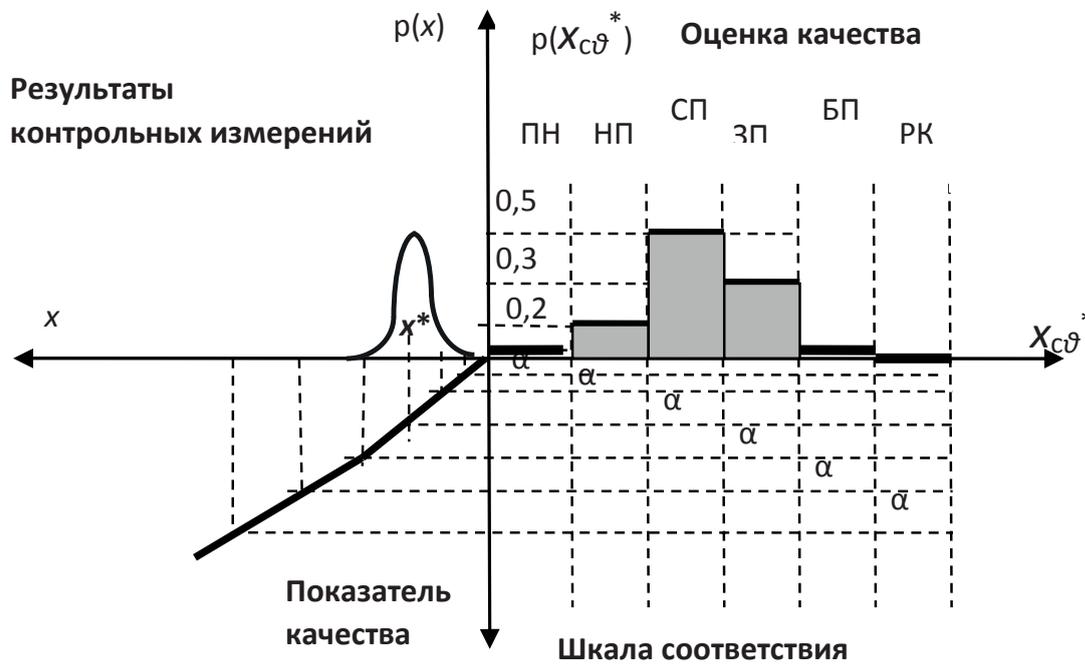


Рис. 9. Плоскость соответствия результата контрольных измерений (одно измерение с известными метрологическими характеристиками) и нормированных значений качественной оценки

$$p_4 = \int_{x_3}^{x_4} f(x^*)dx = 0,03, p_5 = \int_{x_4}^{x_5} f(x^*)dx = 0,01,$$

$$p_6 = \int_{x_5}^{x_6} f(x^*)dx = 0,0.$$

Таким образом, любой результат измерения может быть сведен к нормированной оценке состояния контролируемого объекта. В результате будет получено множество оценок контрольных измерений параметров состояния сооружений: $X_c = \{x_{c1}^*, x_{c2}^*, \dots, x_{c\theta}^*, \dots, x_{c\theta}^*\}$, где $\theta = 1, \theta$ – индексы контролируемых параметров (физические, гидрофизические, биологические и др.).

Получение экспертных оценок состояния территорий и ИС СЗТП на ГИС-основе

Результаты экспедиционных обследований имеют свою специфику, которая отличается присутствием большой доли субъективного фактора в оценке. Поэтому для получения такого рода информации много внимания должно быть уделено разработке методик проведения обследований, формированию вопросов для экспертов. Получаемые оценки имеют случайный характер и могут иметь довольно большое смещение в зависимости от многих субъективных причин.

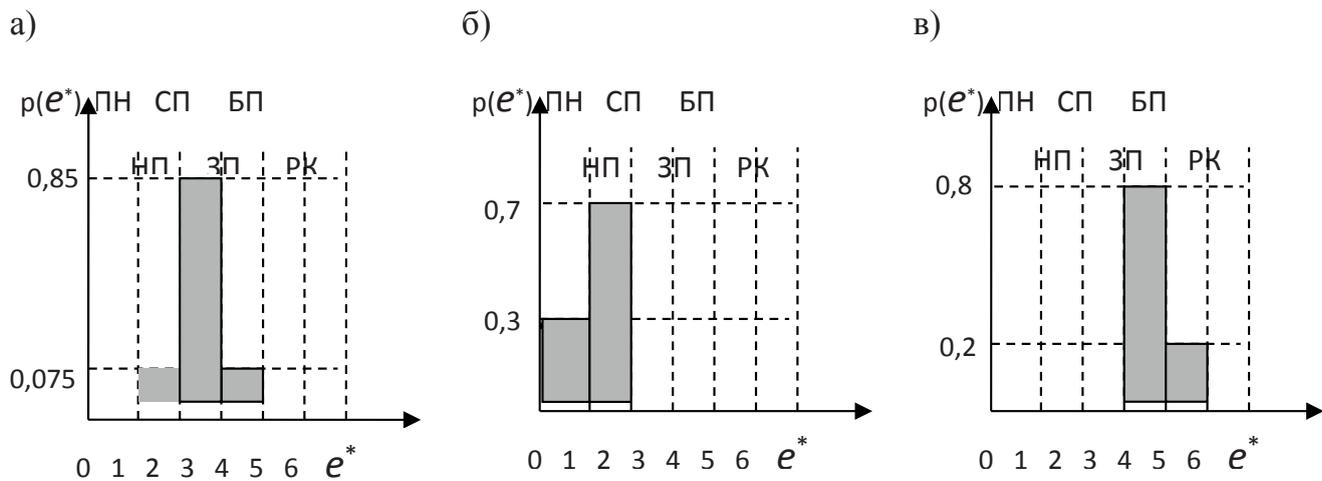


Рис. 10. Пример экспертной оценки: а) прямая оценка; б) оценки типа «не хуже»; в) оценки типа «не лучше»

Экспертная оценка по заданным характеристикам

Табл. 4

Состояние канала в заданном створе	Значения оценки состояния канала в заданном створе ($e_{c\theta}^*$), балл (из 100% от проектной пропускной способности)					
	ПН	НП	СП	ЗП	БП	КР
Повреждений нет	100					
Заросшее камышом и высокотравной растительностью		20	50	30		
Заросшее кустарником			30	70		
Заросшее травой	40	40	20			
Заросшее травой и кустарником						
Засыпанное (по степень засыпки)				10	30	60
Частично переустроенное			10	20	30	40
Удовлетворительное	30	70				

Экспертная оценка специалиста на основании проведенных обследований

Специалист высказывает свое мнение относительно интересующей характеристики в понятиях или отношениях, характеризующих ее значение. Например, относительно состояния ИС СЗТП: «средние повреждения» с вероятностью $0,85 - e^* = \{СП, 0,85\}$; не хуже чем «незначительные повреждения» с вероятностью $0,7 - e^* = \{НП, 0,7\}$; не лучше чем «значительные повреждения» с вероятностью $0,8 - e^* = \{ЗП, 0,8\}$. На рис. 10 приведен вид этих оценок.

В результате обследования эксперты оценивают состояние канала в заданном створе в соответствии с табл. 4

В результате получается оценка, указывающая на наиболее вероятные состояния канала в заданном створе.

Для объединения экспертных оценок необходимо провести их нормирование (в соответствии с методикой, рассмотренной выше). Для этого необходимо привести диапазон изменения к норме – вероятностной оценке, то есть каждое значение оценки, определенное экспертом, разделить на ее максимальное значение (100 баллов). В этом случае все оценки изменяются в диапазоне

от нуля до единицы и при необходимости могут быть объединены с другими оценками.

Экспертная оценка на основании опроса специалистов по списку признаков, каждый из которых измеряется в абсолютных или относительных единицах.

При этом для каждого признака должно быть определено отношение между значениями признака и интересующей характеристики (аналогично контрольным измерениям): $e_k^* = \{e_k', p_c\} \Rightarrow (ПН)$. Для получения более достоверного результата опрашиваемые не должны знать цель опроса.

Для получения оценки интересующей характеристики результаты опроса должны быть просуммированы в нормированном пространстве. При этом оценка, соответствующая каждому признаку, приводится к нормированной шкале характеристики так же, как в предыдущем случае.

Экспертная оценка по результатам обследования объекта по списку признаков

Например, рассмотрим описание признаков подтопления определенного района территории. При этом

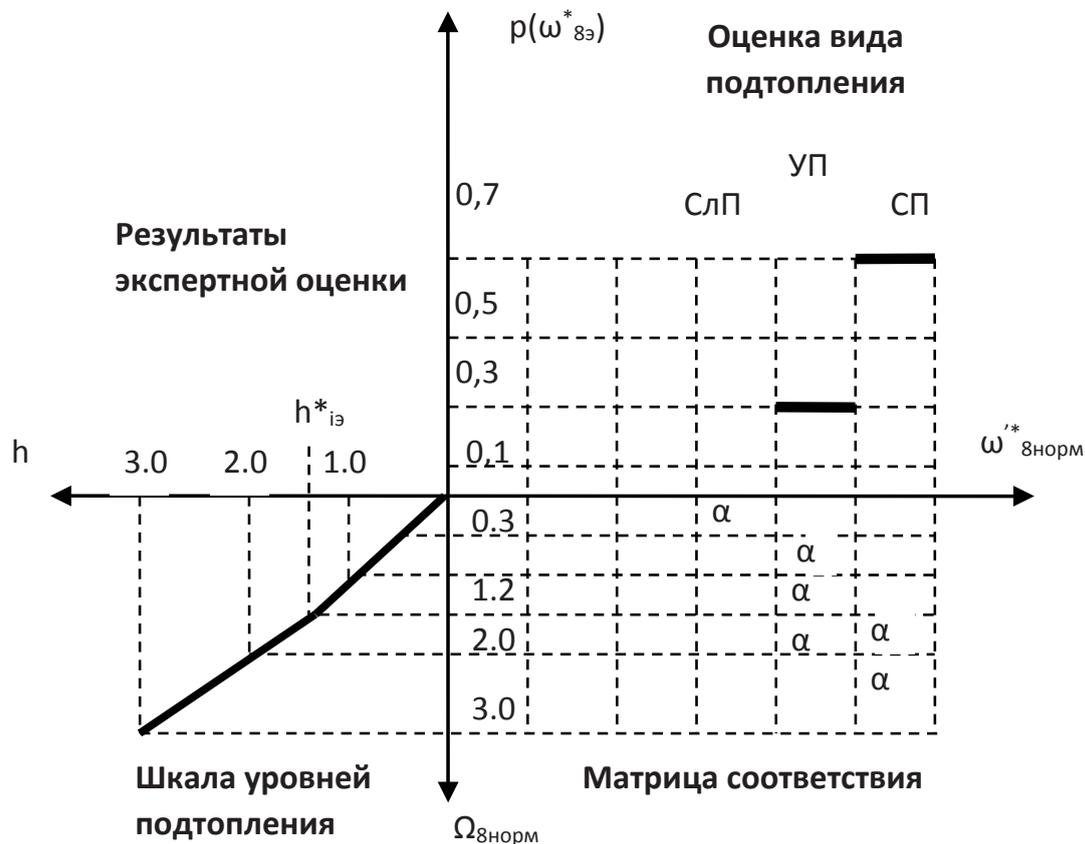


Рис. 11. Схема определения типа подтопления по результатам экспертной оценки $h_{iэ}^*$. На рисунке СлП – слабое подтопление; УП – умеренное подтопление; СП – сильное подтопление

регистрируются различные количественные величины. Значение каждой величины определяет степень подтопления объекта и может быть связано с нормированными значениями характеристики объекта, так же как и результаты контрольных измерений. Степень достоверности определяется как результат статистической обработки протоколов обследования каждого из участников или экспертом, как в предыдущем случае.

На рис. 11 приведен пример, когда эксперт определяет тип подтопления по результатам измерений, находящимся в граничной зоне, с заданной вероятностью в зависимости от своих соображений.

Экспертная оценка по результатам опроса жителей

Вопросы составлены таким образом, чтобы ответы могли быть сформулированы в понятиях нормированного пространства. Например, для оценки опасности на рис. 12 приведена плоскость соответствия результатов опроса и значений качественной шкалы.

На основании проведенных исследований можно утверждать, что экспертные оценки, полученные по

результатам обследований, экспертных или социологических опросов, носят случайный характер и могут иметь смещение, зависящее от различных факторов. Экспертные оценки являются простыми и формируются в нормированной качественной шкале. Неопределенность экспертной оценки определяется методом статистической обработки результатов опросов или назначается экспертом. Все рассмотренные способы обеспечивают получение оценок одного вида – представление результата в нормированной качественной шкале с определением степени доверия: $e_{\theta}^* = \{e_{\theta}, p_e\}$.

Таким образом, результаты обследования состояния территорий и ИС СЗТП могут быть представлены в нормированном виде и представляют собой множество экспертных оценок параметров состояния территории:

$$E_T = \{e_{T1}^*, e_{T2}^*, \dots, e_{T\theta}^*, \dots, e_{T\theta 1}^*\}, \text{ где } \theta = 1, \theta - \text{индексы контролируемых параметров, и сооружений}$$

$$E_c = \{e_{c1}^*, e_{c2}^*, \dots, e_{c\theta 1}^*, \dots, e_{c\theta 1}^*\}, \text{ где } \theta 1 = 1, \theta 1 - \text{индексы контролируемых параметров.}$$

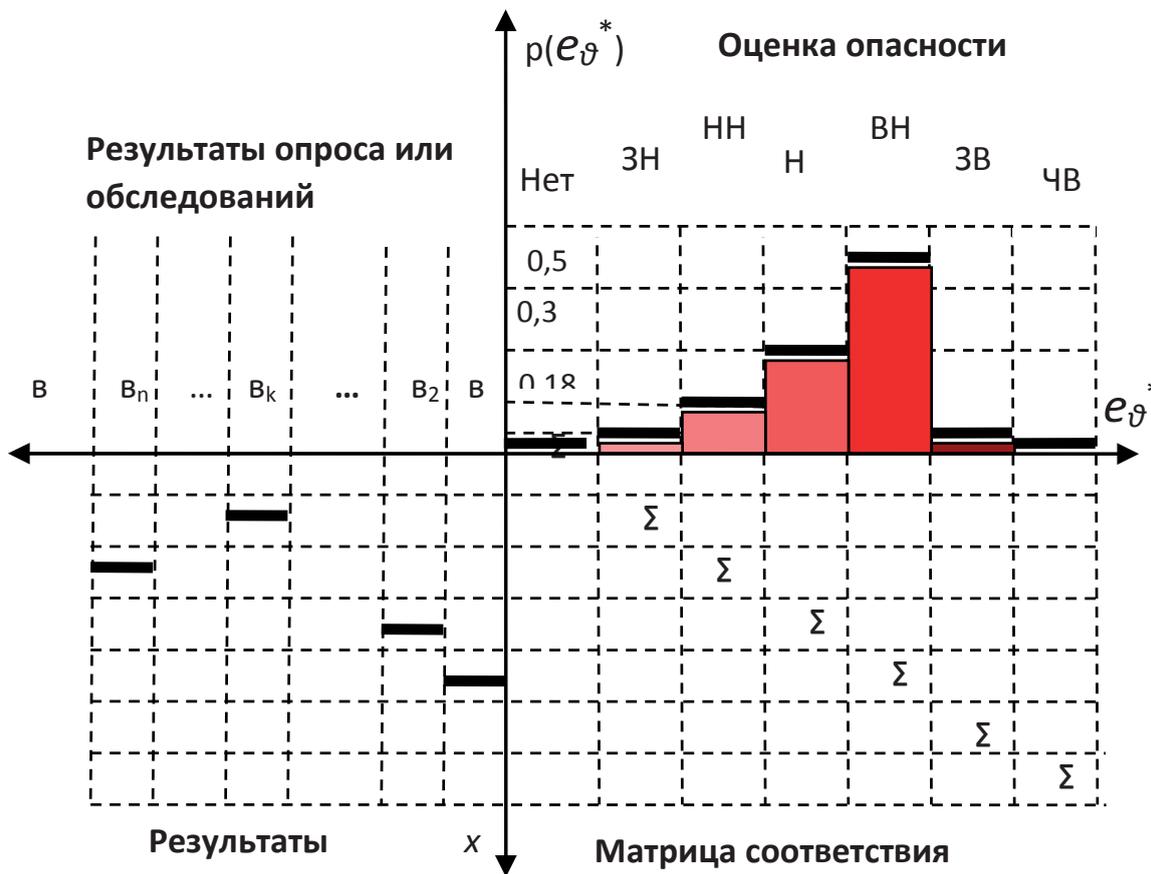


Рис. 12. Плоскость соответствия результатов обработки экспертизы и качественных оценок

Алгоритм формирования сложных и комплексных оценок состояния объекта на ГИС-основе

Реальные характеристики определяются на основе результатов измерений и экспертных оценок, полученных в процессе обследования.

Для получения результирующей оценки состояния территории, сооружения или всей системы в целом необходимо все результаты обследований представить в едином виде, обеспечивающем возможность их объединения. Это возможно, если к каждому частному результату предъявить требование заданной достоверности, то есть если все результаты будут удовлетворять требованиям единства измерений [8].

Будем считать, что простыми являются результаты единичных измерений или экспертных оценок. Сложные оценки – это оценки, полученные на основе объединения измерений разных величин, или экспертных оценок, характеризующих интересующее свойство объекта (в нашем случае это состояние канала). Комплексная оценка – это оценка, полученная на основе объединения простых и сложных оценок, то есть результатов измерений и экспертных оценок.

Рассмотрим вопросы, связанные с получением достоверной информации на основании контрольных измерений и экспертных оценок.

Территориальные системы и инженерные сооружения представляют собой сложные объекты, которые характеризуются большим числом параметров. Поэтому оценка состояния таких объектов также является сложной, базирующейся на простых частных оценках.

Сложная оценка представляет собой обобщенную характеристику, полученную путем суммирования простых оценок с учетом их свойств:

$$O_m^* = \text{SUM}_{j \in J_{sm}} \{x_j^*, e_j^*, p_{dj}, p_{yj}\}, \quad (9)$$

где m – номер сложной характеристики объекта в множестве сложных характеристик M ; $\text{SUM}_{j \in J_{sm}}$ – оператор суммирования; x_j^*, e_j^* – простые оценки, входящие в множество анализируемых характеристик J_{sm} ; p_{dj} – оценка степени доверия; p_{yj} – оценка степени участия x_j^* .

Степень доверия характеризует надежность используемой оценки, способа ее получения и представляет собой коэффициент, изменяющийся от 0,25 до 1,0. (Например, результаты экспертизы, на которые влияет эмоциональная обстановка в обследуемом районе, могут иметь доверие от 0,25 до 0,75, а результаты контрольных измерений установившегося состояния объекта – 1,0.) Значение коэффициента доверия меньше 0,25 говорит о несостоятельности оценки.

Степень участия определяет вес используемой характеристики при формировании сложной оценки качества объекта и назначается экспертом. Значения коэффициента участия изменяются от нуля до единицы.

Если все характеристики равноправны, $p_{yj} = 1$.

Например:

$$O^* = \{x_1^*, p_{d1}, p_{y1}\} + \{x_2^*, p_{d2}, p_{y2}\} + \{x_3^*, p_{d3}, p_{y3}\} = \\ = \{x_1^*, 0,8, 1\} + \{x_2^*, 1, 0,5\} + \{x_3^*, 1, 1\}$$

Результат суммирования определяется в виде значений нормированной шкалы качественных оценок:

$$P_{Ok} = \left(\sum_{j=1}^3 \{x_{kj}^*, p_{dj}, p_{yj}\} \right) / \sum_{k=1}^6 \sum_{j=1}^3 \{x_{kj}^*, p_{dj}, p_{yj}\}, \quad (10)$$

где k – номер участка нормированной шкалы, $k = 1, \dots, 6$,

$$\sum_{k=1}^6 P_{Ok} = 1,$$

j – номер параметра, $j = 1, \dots, 3$.

Сложная оценка является качественной и может быть использована для описания состояния как всего сооружения, так и его отдельных элементов. Например, оценка состояния канала в заданном створе: $O_c = \text{SUM}_k \{X_{ck}, E_{ck}\}$. Для оценки состояния сложного объекта также может быть использована комплексная оценка.

Комплексная оценка, формируемая на основе простых и сложных оценок по алгоритмам, определенным экспертами на основании физического, гидрофизического, экономического и другого смысла анализируемого процесса или объекта. Принципы формирования комплексной оценки удобно отобразить с помощью алгоритма получения оценок. Структура алгоритма показана на рис. 13.

Эксперт-профессионал определяет алгоритм формирования комплексной оценки, вкладывая в нее свои знания и опыт. Каждый вид оценки может быть представлен как слой ГИС, поддерживаемый соответствующей базой данных и программой ее формирования. Для каждого параметра определяется алгоритм его нормирования, существующая методическая база.

Логику получения оценок удобно записать в виде алгоритма:

$$\lambda^* = \text{SUM}_{j \in J_s, m \in M} \{x_j^*, e_j^*, o_m^*, p_{dj}, p_{yj}, p_{dm}, p_{ym}\}, \quad (11)$$

где множество сложных характеристик M является подмножеством анализируемых характеристик объекта $J_{s,j} \neq m$; $\text{SUM}_{j \in J_s, m \in M}$ – оператор суммирования простых x_j^*, e_j^* и сложных o_m^* оценок; p_{dj}, p_{dm} – коэффициенты степени доверия; p_{yj}, p_{ym} – степени участия соответствующих простых и сложных оценок.

Эксперт определяет коэффициент участия каждой оценки. В результате формируется множество оценок, определяющих значение интересующей характеристики, и множество коэффициентов, определяющих алгоритм формирования итоговой оценки.

Таким образом, результатом работы эксперта является алгоритм получения оценок состояния объек-

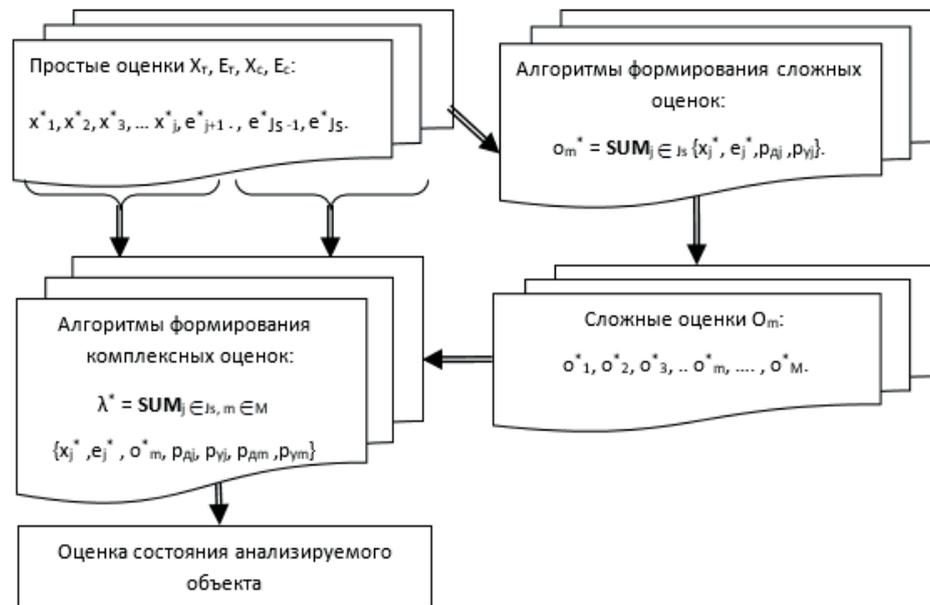


Рис. 13. Структура нормированного пространства оценок

та, которые рассчитаны на реализацию в виде ГИС-проектов: простые, сложные и комплексные оценки формируются в виде слоев ГИС, то есть на основании проведенных измерений, полученных экспертных оценок и имеющихся проектных данных в автоматическом режиме могут быть получены оценки состояния территорий или ИС СЗТП и оценки состояния их отдельных элементов на ГИС-основе в виде ГИС-проектов. При этом нижний уровень определяет перечень всех простых оценок, которые необходимо получить, проводя контрольные измерения, опрос экспертов, обследования и др. Достоверность простых оценок определяет качество результата. Остальные уровни обеспечивают получение соответствующих сложных или комплексных оценок.

Отметим, что сложная и комплексная оценки описываются множеством целевых функций, и они могут быть получены, только если ко всем данным и операциям над ними будут предъявлены требования единства измерений. Единство измерений достигается при организации множества оценок в виде нормированного параметрического пространства с обязательным формированием характеристик достоверности (неопределенности) для каждого значения контролируемых параметров.

Методика формирования ГИС-проекта получения оценки состояния территорий или ИС СЗТП

ГИС-технология позволяет автоматизировать процессы сбора, обработки и представления данных.

При этом появляется возможность создания систем мониторинга состояния объекта, оперативного анализа протекания процессов, прогнозирования развития ситуаций и поддержки принятия управленческих решений [19, 20, 21, 27–30].

Ниже в соответствии с рис. 14 рассмотрены основные этапы формирования ГИС-проекта, обеспечивающего автоматическое выполнение необходимых преобразований и алгоритмов, для решения поставленной задачи – оценки состояния территорий или ИС СЗТП.

1. Создание базовой информационной структуры ГИС для получения оценок.

Средствами стандартной геоинформационной системы формируется необходимая информационная основа:

- база карт, содержащая всю необходимую информацию об объекте (тематические карты объекта, схемы коммуникаций, схемы водопользования и др.);
- база данных: словарь параметров, содержащий перечень контролируемых параметров, описание физической сущности параметра, его единицы измерения, допустимые пределы; библиотека алгоритмов нормирования; база нормативных данных, содержащая значения нормативных величин для каждого параметра; библиотека функциональных преобразований, описывающих целевые функции различного вида.

В результате выполнения этапа создается геоинформационная основа для формирования ГИС-проекта.

2. Создание геоинформационной модели объекта – выделение ТС, определение ее целевых функций, определение структуры СЗТП.

Первым этапом является создание базы для системы анализа и оценки взаимодействия водных систем прилегающих территорий. Целью этапа является формирование слоев, описывающих основные географические, гидрофизические, технико-экономические характеристики территорий: рельеф местности системы, система водосбора, схема естественных водотоков и их характеристики, схемы зарастания территорий по типам растений, характеристики химического, биохимического состояния, схема коммуникаций (автодороги, железнодорожные магистрали, трубопроводы и др.), площадь и т. д.

В результате выполнения этапа формируется модель объекта, определяются целевые функции анализа, необходимые геоинформационные данные, обеспечивающие формирование оценок разного типа и возможности представления результатов анализа непосредственно на геоинформационной модели объекта.

3. Определение перечня контролируемых параметров, алгоритмов получения сложных и комплексных оценок.

В результате выполнения предыдущего этапа определяются структура объекта и целевые функции исследования – анализируемые характеристики. Список контролируемых величин включает как простые параметры x_i , так и величины, входящие в сложные показатели состояния объекта λ_i , v_i . В результате параметры выводятся в ранг рабочих параметров проекта:

- вектор контролируемых параметров территорий: результаты контрольных измерений –

$$X_T = \{x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{T\theta}, \dots, x_{T\theta}, \lambda_{T1}, \lambda_{T2}, \dots, \lambda_{T\theta1}, \dots, \lambda_{T\theta1}\};$$

результаты экспертизы –

$$E_T = \{e_{T1}, e_{T2}, \dots, e_{T\theta2}, \dots, e_{T\theta2}\};$$

- вектор контролируемых параметров технических сооружений:

результаты контрольных измерений –

$$X_C = \{x_{c1}, x_{c2}, \dots, x_{c\theta}, \dots, x_{c\theta}\},$$

где $\theta = 1, \theta$ – индексы контролируемых параметров.

результаты экспертизы –

$$E_C = \{e_{c1}, e_{c2}, \dots, e_{c\theta2}, \dots, e_{c\theta2}\},$$

где $\theta = 1, \theta$ и $\theta1 = 1, \theta1$ – индексы контролируемых простых и интегральных параметров, определяемых с помощью контрольных измерений (физические, гидрофизические, химические, биологические и др.), $\theta2 = 1, \theta2$ – индексы контролируемых параметров, определяемых в результате экспертных оценок.

Все параметры выбираются из списка параметров в сформированной на первом этапе базе данных. Если параметр (контролируемая величина) не входит в соответствующую базу данных, необходимо добавить

недостающую информацию и перейти к следующему этапу.

4. Формирование базы алгоритмов получения простых и сложных нормированных оценок.

Этап посвящен созданию алгоритмов получения простых, сложных и комплексных оценок, формированию слоев, отражающих их структуру. На основании имеющихся данных классификации оценок по видам контролируемых величин (см. выше) определяется состав алгоритмов, обеспечивающих получение нормированных оценок для всех контролируемых величин

Для определения оценок состояния территории и ИС СЗТП в ГИС-проекте – это:

формирование слоев результатов определения нормированных простых оценок. Простая оценка – это или значение контролируемой физической величины – x^* , или значение экспертной оценки – e^* .

Последовательность получения нормированных значений оценок может быть сформулирована следующим образом.

Для каждого параметра из перечня измеряемых величин, определенного в п. 4:

$$X_T = \{x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{T\theta}, \dots, x_{T\theta}, \lambda_{T1}, \lambda_{T2}, \dots, \lambda_{T\theta1}, \dots, \lambda_{T\theta1}\};$$

$$E_T = \{e_{T1}, e_{T2}, \dots, e_{T\theta2}, \dots, e_{T\theta2}\};$$

$$X_C = \{x_{c1}, x_{c2}, \dots, x_{c\theta}, \dots, x_{c\theta}\};$$

$$E_C = \{e_{c1}, e_{c2}, \dots, e_{c\theta2}, \dots, e_{c\theta2}\},$$

с помощью словаря (классификатор контролируемых величин п. 1) определяются его физическая сущность (единицы измерения, возможный диапазон измерений и др.), шкала оценивания, нормативная база.

Для каждого параметра в соответствии с нормативной базой определяется алгоритм нормирования, который в виде процедуры нормирования используется при формировании вектора оценки данного параметра (геослой данных) в матрице нормированных оценок контролируемого объекта:

$$X_H = \{A_1(x_1), A_2(x_2), \dots, A_\theta(x_\theta), \dots, A_\theta(x_\theta)\} =$$

$$= \{x_{1H}, x_{2H}, \dots, x_{\theta H}, \dots, x_{\theta H}\},$$

$$E_H = \{A_{c1}(e_1), A_{c2}(e_2), \dots, A_{c\theta2}(e_{\theta2}), \dots, A_{c\theta2}(e_{\theta2})\} =$$

$$= \{e_{1H}, e_{2H}, \dots, e_{\theta2H}, \dots, e_{\theta2H}\},$$

где: A_1, A_2, \dots – алгоритмы нормирования соответствующих величин в зависимости от их нормативной функции.

Далее результаты определения нормированных оценок будем обозначать как $x_{\theta H} = x_{\theta}^*$ и $e_{\theta H} = e_{\theta}^*$, то есть

результатами определения простых нормированных оценок будут вектора:

для контрольных измерений:

$$X_T^* = \{x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{T\theta}^*, \dots, x_{T\theta}^*, \lambda_{T1}^*, \lambda_{T2}^*, \dots, \lambda_{T\theta1}^*, \dots, \lambda_{T\theta1}^*\};$$

$$X_C^* = \{x_{c1}^*, x_{c2}^*, \dots, x_{c\theta}^*, \dots, x_{c\theta}^*\};$$

для результатов экспертизы:

$$E_T^* = \{e_{T1}^*, e_{T2}^*, \dots, e_{T\theta 2}^*, \dots, e_{T\theta 2}^*\};$$

$$E_c^* = \{e_{c1}^*, e_{c2}^*, \dots, e_{c\theta 2}^*, \dots, e_{c\theta 2}^*\}.$$

Формирование слоев результатов определения сложных оценок

Сложная оценка представляет собой обобщенную характеристику, полученную путем суммирования простых оценок с учетом их свойств:

$$O_m^* = \text{SUM}_{j \in J_{sm}} \{x_j^*, e_j^*, p_{dj}, p_{yj}\},$$

где: m – номер сложной характеристики объекта в множестве сложных характеристик M ; $\text{SUM}_{j \in J_{sm}}$ – оператор суммирования; x_j^*, e_j^* – простые оценки, входящие во множество анализируемых характеристик J_{sm} ; p_{dj} – оценка степени доверия; p_{yj} – оценка степени участия x_j^* .

Перечень сложных оценок формируется в результате анализа целевых функций на этапе 2, а состав и алгоритмы получения сложных характеристик – на этапе 3. В результате реализации алгоритмов определения сложных оценок формируются соответствующие слои ГИС-проекта.

Формирование слоев результатов определения комплексных оценок

Комплексная оценка формируется на основе простых и сложных оценок по алгоритмам, определенным экспертами на основании физического, гидрофизического, экономического и других смыслов по алгоритму, показанному на рис. 13. Каждый вид оценки представлен как слой ГИС, поддерживаемый соответствующей базой данных и программой ее формирования. Алгоритм получения комплексной оценки можно представить в следующем виде:

$$\lambda_1^* = \text{SUM}_{j \in J_{sl}, m \in M} \{x_j^*, e_j^*, o_m^*, p_{dj}, p_{yj}, p_{dm}, p_{ym}\}, \quad (12)$$

где: l – номер комплексной характеристики объекта в множестве комплексных характеристик L , при этом множество сложных характеристик M является подмножеством анализируемых характеристик объекта J_{sl} , $j \neq m$; $\text{SUM}_{j \in J_{sl}, m \in M}$ – оператор суммирования простых x_j^*, e_j^* и сложных o_m^* оценок; p_{dj}, p_{dm} – коэффициенты степени доверия; p_{yj}, p_{ym} – степени участия соответствующих простых и сложных оценок.

Перечень комплексных оценок формируется в результате анализа целевых функций на этапе 2, а состав и алгоритмы получения комплексных оценок – на этапе 3. В результате реализации алгоритмов определения комплексных оценок формируются соответствующие слои ГИС-проекта.

Если настоящий пункт не может быть выполнен по причине отсутствия в базе нормативных данных функций или алгоритмов, которые требуются эксперту (заказчику), необходимо перейти к п.2 и добавить эти алгоритмы в нормативную базу данных.

5. Ранжирование результатов анализа с целью проведения дальнейших обследований и поддержки принятия управляющих решений

Результатом выполнения предыдущих этапов является множество слоев нормированных простых, сложных и комплексных оценок, которые характеризуют состояние объекта в значениях качественной шкалы. Для удобства анализа состояния объектов и возможности принятия решений упорядочим результаты по неубыванию или неувеличению показателя состояния. Например, для оценки состояния створов это будут каналы $C_T^* = \{C_{T-1}, C_{T-2}, \dots, C_{T-k}, \dots, C_{T-K}\}$, где k – номер контролируемого створа, $k = 1, K$, K – число контролируемых створов канала. Алгоритм упорядочивания может быть записан следующим образом:

$$C_T^* = \uparrow_p (C_T = \{C_{T-k} = \{X_T, X_c, E_T, E_c, O_m^*, \lambda_1^*\}\}),$$

где: \uparrow_p – оператор упорядочивания створов канала по неубыванию анализируемой характеристики их состояния; p – оценка состояния канала, определенная как целевая функция обследования; C_T^* – вектор результата упорядочивания створов канала по неубыванию выбранной характеристики.

В результате выполнения этапа формируется вектор, который может быть отображен в виде ГИС-слоя, таблицы или графика, или может быть использован в ГИС-проекте следующего уровня.

6. Формирование алгоритмического обеспечения для вычисления оценок состояния территорий или ИС СЗТП – формирование структуры ГИС-проекта

ГИС-проект – это программная структура, в которой все алгоритмы, сформированные на предыдущих этапах, связываются в определенной последовательности, обеспечивающей решение поставленной задачи. Все уровни геоинформационной системы взаимодействуют через базу геоданных (БГД).

Результаты обследований X_T, X_c, E_T, E_c , привязанные к географическим координатам контролируемого объекта, записываются в БГД. Для каждого контролируемого параметра формируется слой геоданных (СГ). В БГД также входят: алгоритмы нормирования, алгоритмы получения сложных и комплексных оценок (алгоритмы суммирования), алгоритм упорядочивания. Каждый алгоритм, выполняющий операции над слоем геоданных, оформляется как процедура в ГИС-проекте. Структура ГИС-проекта реализует логику получения нормированных оценок, описанную выше (см. рис. 13): результаты обследования приводятся к нормированным шкалам – формируется слой нормированных простых оценок $X_T^*, X_c^*, E_T^*, E_c^*$. Далее для определенных сложных нормированных оценок (п. 3) на основании простых и на основании разрабатываемых алгоритмов (п. 4) формируются процедуры их получения. В результате реализации процедур формируются СГ сложных (O_m^*) и комплексных (λ_1^*) оценок. Каждый СГ является элементом БГД в ГИС-проекте.

Полученные оценки $X_T^*, X_C^*, E_T^*, E_C^*, O_m^*, \lambda_1^*$ являются характеристиками состояния ИС СЗТП. На основании определенной в п. 2 структуры анализируемых ИС и целевой функции формируется таблица – список ИС (например, список контролируемых створов анализируемого канала) и результатов контроля $C_{T-k} = \{X_T, X_C, E_T, E_C, O_m^*, \lambda_1^*\}$, представленных в нормированном виде. Данная таблица является основой для анализа и сравнения состояния ИС СЗТП. Для упрощения анализа в ГИС-проекте реализуется процедура упорядочивания, в результате которой формируется таблица, удобная для анализа и принятия управленческих решений:

$$C_T^* = \uparrow_p (C_T = \{C_{T-k} = \{X_T, X_C, E_T, E_C, O_m^*, \lambda_1^*\}\}).$$

Описанная последовательность процедур определяет структуру ГИС-проекта получения нормированных оценок (ГИСП НО) состояния ИС и ранжирования ИС по результатам анализа. Она показана на рис. 14.

В результате, в автоматическом режиме в виде ГИС-проекта решаются задачи получения простых и сложных нормированных оценок, анализа полученных

результатов стандартными средствами ГИС, представления результатов анализа в удобном виде для формирования управленческих решений.

7. Представление результатов анализа (ГИС-слои, таблицы, диаграммы, формы отчетности).

Результатом выполнения ГИС-проекта (рис. 14) являются сформированные стандартные для геоинформационной системы данные в виде геоинформационных слоев и таблиц. Поэтому для анализа результатов и их представления могут быть использованы все стандартные средства современных ГИС: представление на карте в виде полей, в виде диаграмм, таблиц, в виде документов, определенных пользователем, в виде отчетов.

Методика формирования ГИС-проекта ранжирования ИС по степени опасности и поддержке принятия эффективных решений

ГИС-технология позволяет автоматизировать процесс оценивания, систематизацию результатов анали-

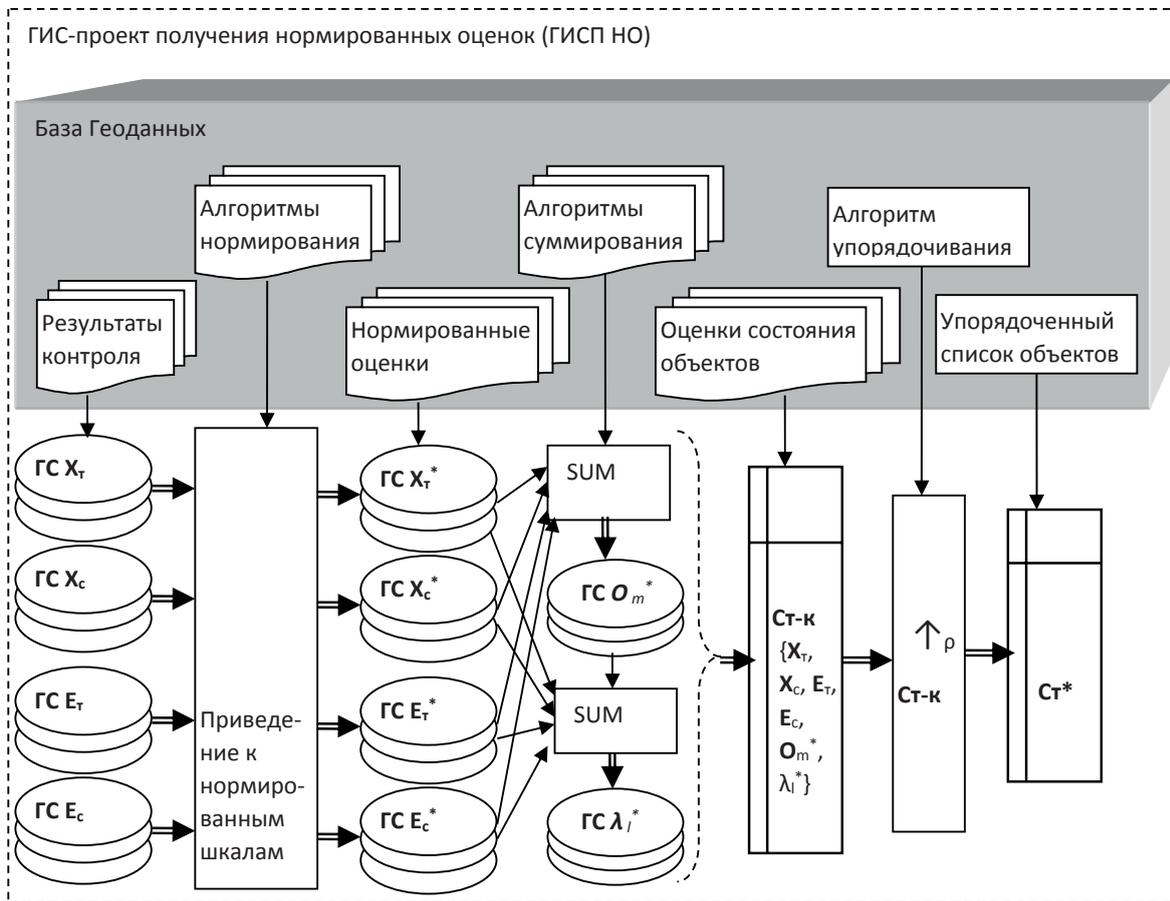


Рис. 14. Структура «ГИСП НО состояния ИС и ранжирования ИС по результатам анализа»

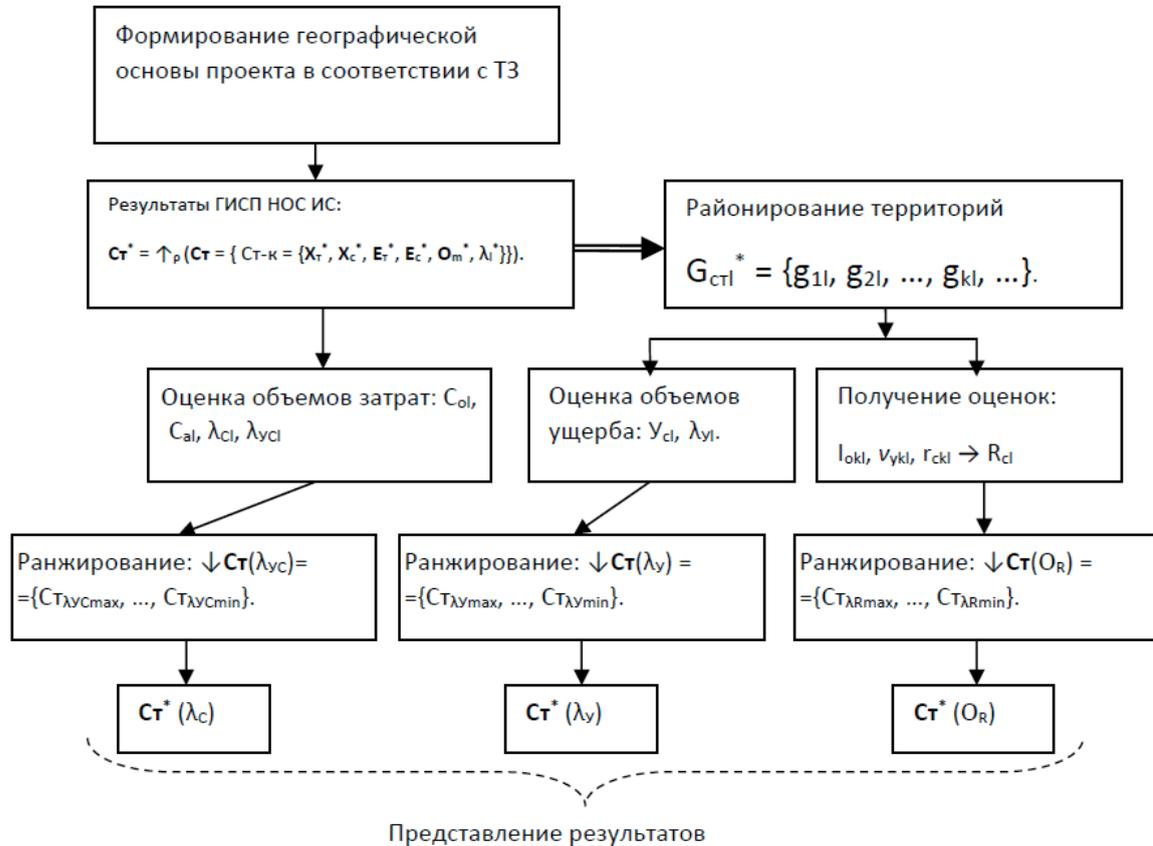


Рис. 15. Логика формирования ГИС-проекта РИС СО

за полученных оценок и представление этих результатов в удобном виде для специалиста, принимающего решение по дальнейшей эксплуатации ИС СЗТП³ [15].

Рассмотрим методику формирования ГИС-проекта, направленного на определение оценок и ранжирование ИС по степени опасности и поддержки принятия решений. Рассматриваемый ГИС-проект опирается на приведенные выше результаты (рис. 14), которые представляют собой таблицу створов, упорядоченных по степени опасности, то есть таблицу геоданных, которая может быть представлена в виде слоя ГИС.

ГИС-проект ранжирования ИС по степени опасности (РИС СО) должен реализовать логику, показанную в виде блок-схемы на рис. 15.

Рассмотрим содержание отдельных этапов.

1. Формирование географической основы для решения поставленной задачи.

В ГИС-проекте ранжирования ИС по степени опасности (РИС СО) указывается объект анализа: район, его

³ Методики оценки риска чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций. URL: http://www.sra-russia.ru/e_docs/tekhnogennyye-chs/vzryvy/metodiki-otsenki-riskov-chrezvychaynykh-situatsiy-i-normativy-priemlegogo-riska-chrezvychaynykh-situatsiy

принадлежность, структура ИС СЗТП, проектные характеристики целевого применения территории и расчетные характеристики всех ИС СЗТП. На основании этих данных формируется географическая основа района, производится географическое и административное районирование ТС, формируется база геоданных описания ИС СЗТП на основании разработанной модели, в которой определяются контролируемые ИС (в рассматриваемом примере это список контролируемых створов мелиоративного канала или системы каналов).

2. Реализация ГИС-проекта «ГИСП НОС ИС и ранжирования ИС по результатам анализа» и использование в качестве базы его результатов.

На основании задания для обследования (список створов) проводятся обследования с целью получения реальных оценок состояния ИС $C_T - k = \{X_T^*, X_C^*, E_T^*, E_C^*\}$, которые являются базой для реализации ГИС-проекта «ГИСП НОС ИС и ранжирования ИС по результатам анализа». Результатом ГИС-проекта является таблица $C_T^* = \uparrow_p (C_T = \{C_{T-k} = \{X_T^*, X_C^*, E_T^*, E_C^*, O_m^*, \lambda_1^*\}\})$, в которой все створы (ИС) упорядочены по степени опасности своего состояния (соответствия своим расчетным характеристикам).

3. Определение для каждого опасного створа территории зоны подтопления и районирование территории подтопления по степеням опасности подтопления.

Для каждого опасного створа, имеющего повреждение, на ГИС-основе определяется территория подтопления, которая может включать несколько непересекающихся территориальных подсистем разного назначения (разной степени урбанизации) – $G_{ctl}^* = \{g_{1l}, g_{2l}, \dots, g_{kl}, \dots, g_{Kl}\}$, площадь которой равна сумме площадей этих территориальных подсистем:

$$S_{ctl} = \sum_{k=1}^K S_{gkl}.$$

Проведенное районирование является основой для определения оценок территорий по риску подтопления R_{cl} и оценок возможного нанесенного ущерба Y_{cl} .

4. Получение для каждого опасного створа оценок опасности подтопления, уязвимости по подтоплению и риска подтопления для соответствующих территорий.

Для каждой территориальной подсистемы g_{kl} может быть получена оценка риска подтопления $r_{ckl} = v_{ykl} I_{okl}$, где коэффициент опасности подтопления – I_{okl} , а коэффициент уязвимости подтопления – v_{ykl} . Оценка риска подтопления территорий G_{cmi}^* , связанной с контролируемым створом l , в этом случае вычисляется по формуле

$$R_{cl} = \sum_{k=1}^K v_{ykl} I_{okl} \frac{S_{kl}}{S_{ol}},$$

где: S_{ol} – площадь территории, для которой определяется коэффициент R_{cl} ,

$$S_{ol} = \sum_{k=1}^K S_{kl},$$

K – число разбиений территории G_{cmi}^* площадью S_{ol} на непересекающиеся территории g_{kl} площадью S_{kl} , для которых получены оценки коэффициента опасности подтопления I_{okl} и коэффициента уязвимости подтопления v_{ykl} .

Полученные оценки являются характеристиками анализируемых створов. Они формируются в виде геоинформационных слоев ГИС-проекта и отображаются в базе геоданных, также заносятся в соответствующие графы таблицы атрибутивных данных ИС.

5. Ранжирование створов по степени риска подтопления территорий, подпадающих под их воздействие.

Задача нахождения наиболее опасных поврежденных инженерных сооружений, приводящих к максимальному риску от подтопления, может быть решена в ГИС следующим образом. Для упрощения анализа

в ГИС-проекте реализуется процедура упорядочивания, в результате которой формируется таблица, удобная для анализа и принятия управляющих решений: $\downarrow C_T(O_R) = \{C_{clRmax}, \dots, C_{clRmin}\}$.

6. Оценка объема работ (затрат), необходимых для восстановления проектных характеристик канала и эффективности их проведения.

Оценка объемов работ по восстановлению канала определяется специалистами-экспертами в процессе обследований ИС СЗТП. Оценка может исчисляться в относительных (относительно первоначальной стоимости анализируемого инженерного сооружения или его части) или абсолютных единицах (стоимость работ). Однако для проведения анализа относительную оценку необходимо привести к абсолютной оценке C_{al} , так как абсолютная оценка объемов работ по восстановлению позволяет оценить эффективности принимаемых решений $\lambda_{ycla} = f(O_1, Y_{пстп}, C_{al}, P_{ol}, P_{yl}, P_{cl})$.

7. Оценка объемов возможного нанесенного ущерба в случае подтопления территории из-за нарушения функционирования канала.

Оценка объемов возможного нанесенного ущерба, так же как и оценка объемов работ по восстановлению канала, определяется специалистами-экспертами в процессе обследований ИС СЗТП. Оценка объемов возможного нанесенного ущерба измеряется в абсолютных единицах объема ущерба $Y_{пстп}$. Эта оценка также позволяет оценить эффективности принимаемых решений $\lambda_{ycla} = f(O_1, Y_{пстп}, C_{al}, P_{ol}, P_{yl}, P_{cl})$.

8. Ранжирование сооружений по степени опасности (возможному нанесенному ущербу от затопления территорий).

Так же как и в п. 5, задача нахождения наиболее опасных инженерных сооружений, приводящих к максимальному возможному нанесенному ущербу от подтопления, может быть решена в ГИС путем выполнения процедуры упорядочивания, в результате которой формируется таблица, удобная для анализа и принятия управляющих решений: $\downarrow C_T(\lambda_Y) = \{C_{TYmax}, \dots, C_{TYmin}\}$.

9. Решение задачи наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений.

Задача наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений может быть решена на основе сформированной оценки эффективности восстановления опасного створа, определяемой отношением $Y_{пстп}/C_{al} - \lambda_{ycla} = f(O_1, Y_{пстп}, C_{al}, P_{ol}, P_{yl}, P_{cl})$, или абсолютными значениями показателей ущерба и затрат: $Y_{пстп}, C_{al} - \lambda_{ycla} = f(O_1, Y_{пстп}, C_{al}, P_{ol}, P_{yl}, P_{cl})$. При этом

вариант наиболее эффективного вложения также может быть определен в ГИС путем выполнения процедуры упорядочивания, в результате которой формируется таблица, удобная для анализа и принятия управляющих решений: $\downarrow C_T(\lambda_{ycl}) = \{C_{Tyclmax}, \dots, C_{Tyclmin}\}$.

Данная информация является определяющей для принятия решений по ремонту или восстановлению технических сооружений, представляющих наибольшую опасность и приводящих к наибольшему ущербу в случае подтопления территории.

10. Предоставление результатов анализа в ранжированном виде.

При использовании стандартных средств ГИС все полученные результаты можно представить специалисту для принятия решений в удобном виде: таблицы, графики, гистограммы, тематические карты.

Структура ГИС-проекта показана на рис. 16.

Таким образом, разработанное алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния территорий и ИС СИЗТП на базе геоинформационных технологий представляется эффективным инструментом для решения задач управления развивающимися территориями.

Представление территориальной системы в виде подсистем, характеристики которых организованы в виде слоев ГИС, создает базу для формирования ГИС-проектов, обеспечивающих автоматическое определение оценок состояния контролируемых объектов и анализ оценки степени риска подтопления территорий. Проведенное геоинформационное районирование позволяет определить степень воздействия системы водосбора каждой территории на ее природную систему и хозяйственную инфраструктуру и степень воздействия на прилегающие территории и их системы инженерной защиты от подтопления. Выбранные оценки степени риска подтопления для каждой территории позволяют оценить степень важности (экономической опасности) той или иной территории. Они обосновывают необходимость поддержания высокого (расчетного) уровня работоспособности инженерных сооружений защиты территории от подтопления. Ранжирование инженерных сооружений по степени опасности и решение задачи наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений обеспечивают поддержку принятия управляющих решений при планировании экономического развития территорий.

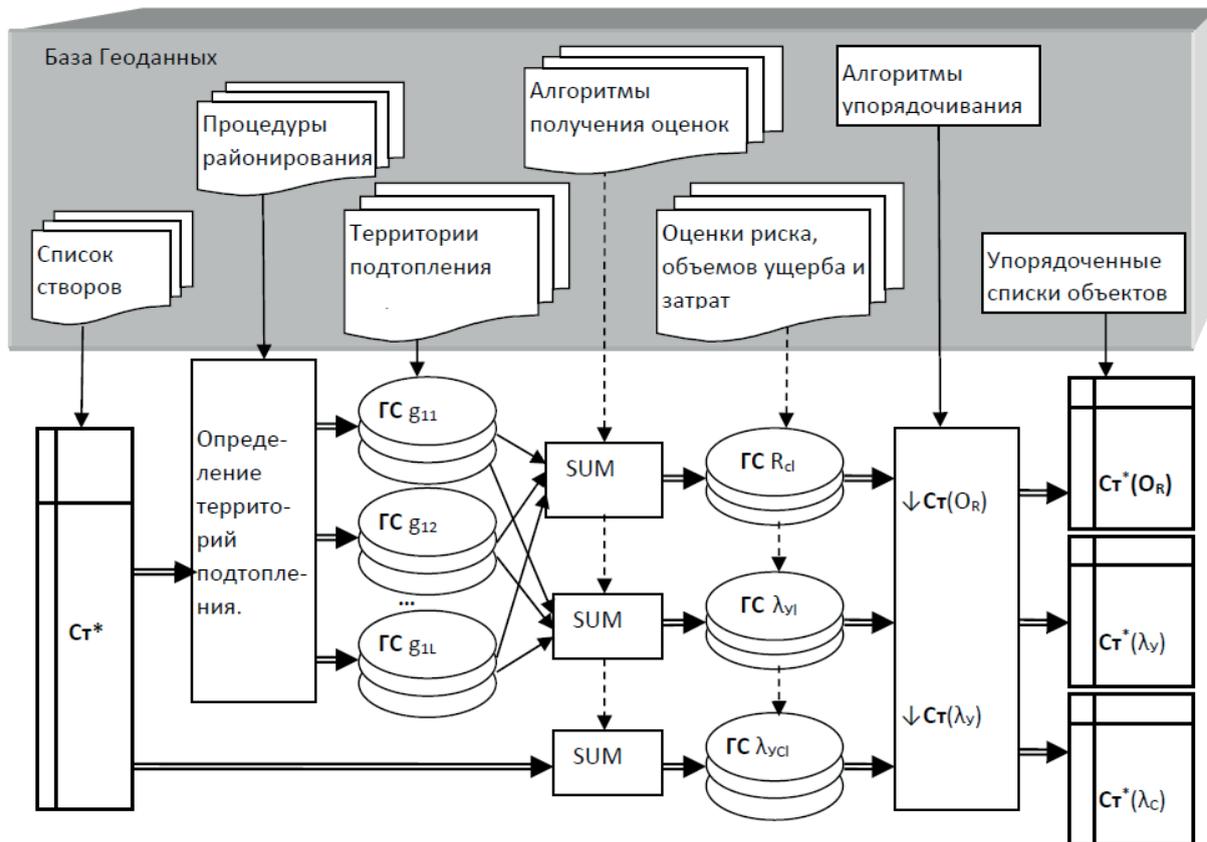


Рис. 16. Структура «ГИСП НО состояния ИС и ранжирования ИС по результатам анализа»

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Алексеев ВВ. Информационные измерительные системы. Комплексная оценка состояния объектов окружающей природной среды на основе ГИС-технологий. Вестник образования и развития науки РАЕН. 2001;5(3):230-40.
2. Алексеев ВВ, Королев ПГ, Куракина НИ, Орлова НВ. Информационно-измерительные и управляющие системы мониторинга состояния распределенных технических и природных объектов. Приборы. 2009;(10):28-42.
3. Алексеев ВВ, Куракина НИ. Измерительные системы и ГИС-технологии. СПб.: Изд-во Эл-ор; 2007.
4. Алексеев ВВ, Куракина НИ. Информационно-измерительные системы мониторинга. Вопросы комплексной оценки состояния окружающей природной среды на базе ГИС-технологий. ГИС-обзор. 2000;(19):67-9.
5. Алексеев ВВ, Куракина НИ. Принципы построения нормированного пространства для формирования комплексных оценок о состоянии сложных объектов. СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет; 2000.
6. Алексеев ВВ, Орлова НВ. ИИС контроля состояния природных объектов. Обеспечение единства измерений при получении оценок на основе контрольных измерений. Приборы. 2010;(2):19-28.
7. Алексеев ВВ, Орлова НВ, Иващенко ОА. ИИС контроля состояния природных объектов на основе геоинформационных технологий. Формирование нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок. СПб.: Изд-во ЛЭТИ; 2010.
8. Алексеев ВВ, Орлова НВ, Иващенко ОА. Методика формирования нормированных логарифмических шкал. Метрологический анализ. В кн.: Материалы XIII конференции по мягким вычислениям и измерениям. Санкт-Петербург; 2010.
9. Алексеев ВВ, Орлова НВ, Шишкин ИА, Гусева ЕС, Жигновская АС. ГИС мониторинга состояния инженерных сооружений защиты территории от подтопления. СПб.: Из-во ЛЭТИ; 2012.
10. Алексеев ВВ, Орлова НВ, Шишкин ИА. ГИС «Мелиорация развивающихся территорий». ГИС-проект «Оценка состояния инженерных сооружений системы защиты территорий от подтопления». СПб.: ООО «ПИФ.com»; 2012. с. 52-7.
11. Алексеев ВВ, Орлова НВ, Шишкин ИА. ГИС «Мелиорация развивающихся территорий». Методика формирования ГИС-проекта «Оценка риска и возможного нанесенного ущерба от подтопления территории». СПб.: ООО «ПИФ.com»; 2012. с. 57-62.
12. Алексеев ВВ, Орлова НА, Шишкин ИА. ГИС «Мелиорация». Получение оценок состояния объекта на основе контрольных измерений. В кн.: Материалы VI Международного конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов». Санкт-Петербург; 2013. с. 69-74.
13. Алексеев ВВ, Шишкин ИА. ИИС мониторинга состояния системы инженерной защиты территории от подтопления на базе ГИС. Часть 2. Получение оценок, поддержка принятия управляющих решений. Приборы. 2012;(6):28-37.
14. Алексеев ВВ, Шишкин ИА. Геоинформационная система оценки состояния технических сооружений защиты территории от подтопления. Вестник Тихоокеанского государственного университета; 2012;4(27):69-78.
15. Алексеев ВВ, Орлова НВ, Шишкин ИА, Жигновская АС, Гусева ЕС. ГИС «Мелиорация развивающихся территорий». Реализация ГИС-проекта «Оценка риска и возможного нанесенного ущерба от подтопления территории». СПб.: ООО «ПИФ.com»; 2012. с. 63-70.
16. Антонов ИВ, Шишкин ИА, Епифанов АВ. Использование удельных показателей для оценки техногенной нагрузки с использованием геоинформационных систем. В кн.: Материалы XVI межотраслевой международной конференции «Допустимое воздействие на окружающую среду и совершенствование системы экологической безопасности». СПб.; 2008. с. 105-8.
17. Арефьев НВ. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика. СПб.: Изд-во Политехнического университета; 2011.
18. Арефьева ЕВ, Мухин ВИ, Мирмович ЭГ. Подтопление как потенциальный источник ЧС. Технологии гражданской безопасности. 2007;4(14).
19. Бескид ПП, Куракина НИ, Орлова НВ. Геоинформационные системы и технологии. СПб.: РГГМУ; 2010.
20. Дзекцер ЕС, Пырченко ВА. Технология обеспечения устойчивого развития урбанизированных территорий в условиях воздействия природных опасностей. М.: ДАР/ВОДГЕО; 2004.
21. Дружинин НИ, Шишкин АИ. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения вод суши. Л.: Гидрометеиздат; 1989.

22. Жильникова НА, Алексеев ВВ, Шишкин ИА. Информационно-измерительная система мониторинга защиты территории топливно-энергетического комплекса от подтопления на основе геоинформационной технологии. Информационно-управляющие системы. 2015;(6):93-5.
23. Жуков КГ. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М.: ДМК Пресс; 2011.
24. Исаев ЛК. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. СПб.: Эколого-аналитический информационный центр «Союз»; 1998.
25. Кондратьев СА, Фруммин ГТ. Водные объекты Санкт-Петербурга. СПб.: Символ; 2002.
26. Куранов ПН. Обоснование критериев уровня риска при подтоплении градопромышленных территорий. Экология урбанизированных территорий. 2011;(3)70-4.
27. Серов АВ. Базы данных и геоинформационные системы. Атрибутивная информация. Пространственные данные. <http://www.gisa.ru/52133.html>
28. Серов АВ. Базы данных и геоинформационные системы. Сферы применения моделей данных в ГИС. Пространственные данные. <http://www.gisa.ru/54694.html>.
29. Слепян ЭИ, ред. Безопасность большого города. СПб.: Изд-во Сергея Ходова; 2007.
30. Трифонова ТА, Мищенко НВ, Краснотекоев АН. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. М.: Академический проект; 2005.
31. Федоров МП. Экологические основы управления природно-техническими системами. СПб.: Изд-во Политехнического университета; 2007.
32. Шитиков ВК, Розенберг ГС, Зинченко ТД. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН; 2003.
33. Шишкин АИ. Управление качеством окружающей среды с применением геоинформационных систем. СПб.: Изд-во Политехнического университета; 2011.
34. Шишкин АИ, Епифанов АВ, Антонов ИВ. Геоинформационная моделирующая система нормирования допустимых сбросов для целлюлозно-бумажных комплексов. В кн.: Сборник материалов XII Международного экологического форума «День Балтийского моря». СПб.: ООО «Цветпринт»; 2011. с. 31-2.
35. Шишкин АИ, Епифанов АВ, Антонов ИВ. Нормирование сброса сточных вод при производстве целлюлозы и продуктов ее переработки с применением ГИС-технологий. Целлюлоза Бумага Картон. 2012;(1):66-73.
36. Шишкин АИ, Епифанов АВ, Антонов ИВ. Интегрированное нормирование допустимых сбросов для водопользователей бассейна Балтийского моря. В кн.: Сборник материалов XI Международного экологического форума «День Балтийского моря». СПб.: ООО «Макси-Принт»; 2010. с. 206-7.
37. Шишкин ИА. Оценка состояния подтопляемых территорий на ГИС-основе. В кн.: Сборник материалов Биос-форума. СПб.; 2012. с. 301-5.
38. Шишкин ИА, Кондрашкова ГА, Луканин ПВ. Управление и контроль параметров водохозяйственного комплекса с применением ГИС-технологий. В кн.: Сборник докладов и сообщений научно-практической конференции «Молодые ученые университета – ЛПК России». СПб.; 2006. с. 117-20.
39. Шишкин ИА. Представление системы инженерной защиты территории от подтопления в ГИС с целью автоматизации оценки их состояния. СПб.: МНТК «Научкоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий»; 2011. с. 47-52.

Общий список литературы/Reference list

1. Alekseyev VV. [Informational measuring systems. Integral assessment of environmental objects based on geo-information system technologies]. Vestnik Obrazovaniya i Razvitiya Nauki Rossiyskoy Akademii Yestestvennykh Nauk. 2001;5(3):230-40. (In Russ.)
2. Alekseyev VV, Korolev PG, Kurakina NI, Orlova NV. [Informational measuring and control system for monitoring the conditions of distributed technical and natural objects]. Pribory. 2009;(10):28-42. (In Russ.)
3. Alekseyev VV, Kurakina NI. Izmeritel'nye Sistemy i GIS-Tekhnologii. [Measuring Systems and GIS-Technology]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo El-Or; 2007. (In Russ.)
4. Alekseyev VV, Kurakina NI. [Informational measuring systems for monitoring. Issues of integral assessments of the environment using geoinformation technologies]. GIS-Obozreniye. 2000;(19):67-9. (In Russ.)
5. Alekseyev VV, Kurakina NI. [Principles of normalized space construction for integral assessments of complex object conditions]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo LETI; 2000. (In Russ.)
6. Alekseyev VV, Orlova NV. [Informational measuring systems for natural objects control using

- geoinformation technologies. Ensuring the uniformity of estimates in assessments based on control measurements]. *Pribory*. 2010;(2):19-28. (In Russ.)
7. Alekseyev VV, Orlova NV, Ivashhenko OA. [Informational measuring systems for natural objects control using geoinformation technologies]. Saint Petersburg; Izdatel'stvo LETI; 2010. (In Russ.)
 8. Alekseyev VV, Orlova NV, Ivaschenko OA. [Methodology of construction of normalized logarithmic scale]. In: *Metrologicheskiy Analiz Materialy XIII Konferentsii po Miagkim Vychisleniyam i Izmereniyam*. Saint Petersburg; 2010. (In Russ.)
 9. Alekseyev VV, Orlova NV, Shishkin IA, Guseva ES, Zhignovskaja AS. [GIS for monitoring the conditions of engineering means of protection from flooding]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo LETI; 2012. (In Russ.)
 10. Alekseyev VV, Orlova NV, Shishkin IA. [GIS «Melioration of Developing Territories». GIS project «Evaluation of Engineering Constructions for Protecting from Flooding»]. Saint Petersburg: OOO «PIF.com»; 2012. P. 52-7. (In Russ.)
 11. Alekseyev VV, Orlova NV, Shishkin IA. [GIS «Melioration of Developing Territories» Methodology of the GIS project «Risk Assessment and Possible Damage Caused by Flooding»]. Saint Petersburg: OOO «PIF.com»; 2012. P. 57-62. (In Russ.)
 12. Alekseyev VV, Orlova NA, Shishkin IA. [GIS «Melioration». Assessments of object conditions based on control measurements]. In: *Materialy VI Mezhdunarodnogo Kongressa «Tseli Razvitiya Tysiacheletiya i Innovatsionnye Printsipy Ustoychivogo Razvitiya Arkticheskikh Regionov»*. Saint Petersburg; 2013. P. 69-74. (In Russ.)
 13. Alekseyev VV, Shishkin IA. [GIS-based informational measuring system for monitoring the conditions of engineering means of protection from flooding. Part 2: Making assessments and supporting management decision-making]. *Pribory*. 2012;(6):28-37. (In Russ.)
 14. Alekseyev VV, Shishkin IA. [Geographic informational system for assessing the conditions of technical constructions for territory protection from flooding]. *Vestnik Tikhookeanskogo Gosugarstvennogo Universiteta*. 2012;4(27):69-78. (In Russ.)
 15. Alekseyev VV, Orlova NV, Shishkin IA, Zhignovskaja AS, Guseva ES. [GIS «Melioration of Developing Territories». The implementation of the GIS project «Risk Assessment and Possible Damage Caused by Flooding»]. Saint Petersburg: OOO «PIF.com»; 2012. P. 63-70. (In Russ.)
 16. Antonov IV, Shishkin IA, Yepifanov AV. [Employing specific indicators in assessing anthropogenic loads using geoinformation systems]. In: *Materialy XVI Mezhotraslevoy Mezhdunarodnoy Konferentsii «Dopustimoye Vozdeystviye na Okruzhayushchuyu Sredu i Sovershenstvovaniye Sistemy Ekologicheskoy Bezopasnosti»*. Saint Petersburg; 2008. P. 105-8. (In Russ.)
 17. Arefyev NV. *Osnovy Formirovaniya Prirodno-Tekhnicheskikh Sistem. Teoriya i Praktika*. [Foundations of Natural-Agrarian Systems Development. Theory and Practice]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Politehnicheskogo Universiteta; 2011. (In Russ.)
 18. ArefyevaYeV, Mukhin VI, Mirmovich JeG. [Flooding as a potential source of emergency]. *Tekhnologii Grazhdanskoy Bezopasnosti*. 2007;4(14):69-73. (In Russ.)
 19. Beskid PP, Kurakina NI, Orlova NV. *Geoinformatsionnye Sistemy i Tekhnologii*. [Geoinformation Systems and Technologies]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo RGGMU; 2010. (In Russ.)
 20. Dzektser ES, Pyrchenko VA. *Tekhnologiya Obespecheniya Ustoychivogo Razvitiya Urbanizirovannykh Territoriy v Usloviyakh Vozdeystviya Prirodnykh Opasnostey*. [Technology for sustainable development of urban areas in the face of natural hazards]. Moscow; DAR/VODGEO; 2004. (In Russ.)
 21. Druzhinin NI, Shishkin AI. *Matematicheskoye Modelirovaniye i Prognozirovaniye Zagriazneniya Vod Sushi*. [Mathematic Simulation and Forecasting of Surface Water Pollution]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1989. (In Russ.)
 22. Zhil'nikova NA, Alekseyev VV, Shishkin IA. [Geoinformation Technology-Based Informational Measuring System for Monitoring the Protection of a Fuel-Power Complex from Flooding]. *Informatsionno-Upravliayuschiye Sistemy*. 2015;(6):93-7. (In Russ.)
 23. Zhukov KG. [Modelling-Based Designing of Add-In Systems Using LabVIEW]. Moscow: DMK Press; 2011. (In Russ.)
 24. Isayev LK. *Kontrol' Khimicheskikh i Biologicheskikh Parametrov Okrushayushey Sredy*. [Control of Chemical and Biological Parameters of the Environment]. Saint-Petersburg.: *Ekologo-Analiticheskiy Informatsionnyi Tsentr «Soyuz»*; 1998. (In Russ.)
 25. Kondratyev SA, Frumin GT. *Vodnye Obyekty Santk-Peterburga*. [Water Bodies of Saint Petersburg]. Saint Petersburg; 2002. (In Russ.)
 26. Kuranov PN. [Substantiation of criteria of the risk of flooding of urbanized industrial territories]. *Ekologiya Urbanizirovannykh Territoriy*. 2011;(3):70-4. (In Russ.)
 27. Serov AV. [Databases and GIS: Attributive information]. *Prostranstvennyye Dannye*. 2008;(4). <http://www.gisa.ru/52133.html>. (In Russ.)

28. Serov AV. [Databases and GIS: Application areas of data models in GIS]. Prostranstvennyye Dannyye. 2009;(1). <http://www.gisa.ru/54694.html>. (In Russ.)
29. Slepyan EI., ed. Bezopasnost Bolshogo Goroda. [The Safety of a Big City]. SPB: Izdatel'stvo Sergeya Khodova; 2007. (In Russ.)
30. Trifonova TA, Mischenko NV, Krasnotekov AN. Geoinformatsionnyye Sistemy i Distsionnoye Zondirovaniye v Ekologicheskikh Issledovaniyakh. [Geographic Information Systems and Remote Sensing in Environmental Studies]. Moscow: Akademicheskii Proyekt; 2005. (In Russ.)
31. Fedorov MP. [The Ecological Foundations Techno-Natural Systems Management]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Politekhnicheskogo Universiteta; 2007. (In Russ.)
32. Shitikov VK, Rozenberg GS, Zinchenko TD. Kolichestvennaya Gidroekologiya: Metody Sistemnoy Identifikatsii. [Quantitative Hydroecology: System Identification Methods]. Tolyatti: IEVB RAN; 2003. (In Russ.)
33. Shishkin AI. Upravleniye Kachestvom Okruzhayushchey Sredy s Primeneniyem Geoinformatsionnykh Sistem. [Environment Quality Management with Geoinformation Systems]. Saint-Petersburg.: Izdatel'stvo Politekhnicheskogo Universiteta; 2011. (In Russ.)
34. Shishkin AI, Yepifanov AV, Antonov IV. [A geoinformation modelling system for rate setting of permissible discharges from pulp-and-paper industry complexes]. In: Sbornik Materialov XII Mezhdunarodnogo Ekologicheskogo Foruma «Den' Baltiyskogo Moria». Saint Petersburg: OOO Tsvetprint; 2011. P. 31-2. (In Russ.)
35. Shishkin AI, Yepifanov AV, Antonov IV. [Using geoinformation technologies for rate setting of wastewater discharge at pulp-and-paper plants]. Tselluloza Bumaga Karton. 2012;(1):66-73. (In Russ.)
36. Shishkin AI, Yepifanov AV, Antonov IV. [Integrated rate setting of permissible discharges to water for water users of the Baltic Sea basin]. In: Sbornik Materialov XI Mezhdunarodnogo Ekologicheskogo Foruma «Den' Baltiyskogo moria». Saint Petersburg: OOO «Maksi-Print»; 2010: 206-207. (In Russ.)
37. Shishkin IA. [GIS-based assessment of flooded territory conditions]. In: Sbornik Materialov Bios-Foruma. Saint Petersburg; 2012: 301-5. (In Russ.)
38. Shishkin IA, Kondrashkova GA, Lukanin PV. [Management and control of water complex parameters using GIS technology]. In: Sbornik Dokladov i Soobshheniy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii «Molodye Uchenye Universiteta – LPK Rossii». Saint Petersburg; 2006:117-20. (In Russ.)
39. Shishkin IA. [Using GIS to automatize assessing the conditions of engineering means for territory protection from flooding]. Saint-Petersburg: MNTK «Naukoyemkiye i Innovatsionnyye Tehnologii v Reshenii Problem Prognozirovaniya i Predotvrashheniya Chrezvychaynykh Situatsiy i Ikh Posledstviy»; 2011. P. 47-52. (In Russ.)
40. Hardisty J, Taylor DM, Metcalfe SE. Computerized Environmental Modeling: A Practical Introduction. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1993.

