



УДК 681.20:547.47

© В. В. Алексеев, И. А. Шишкин, 2012

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ

Алексеев В. В. - д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ИИСТ; *Шишкин И. А.* - асп. кафедры ИИСТ (СПбГЭТУ ЛЭТИ)

Рассматриваются вопросы организации алгоритмического обеспечения ГИС, предназначенного для оценки состояния и мониторинга технических сооружений защиты территории от подтопления, а также самих территорий. Особенное внимание уделено вопросам получения оценок на основе контрольных измерений и экспертных оценок на единой метрологической основе. Рассматривается методическое обеспечение для ранжирования технических сооружений и территорий в соответствии и получаемой оценкой риска от подтопления.

The paper deals with problems in organization of the algorithmic support of geo-information system intended for an estimation of the conditions of and monitoring technical constructions designed for territory protection from flooding and also territories themselves. Special attention is given to questions of obtaining estimation on the basis of control measurements and expert estimations on a uniform metrological basis. Methodical maintenance for ranging technical constructions and territories in view of risk from flooding is considered.

Ключевые слова: геоинформационная система, результат контрольных измерений, экспертная оценка, оценка состояния, инженерное сооружение, территория, оценка риска.

Современные геоинформационные технологии (ГИС) располагают развитым математическим аппаратом, позволяющим решать широкий спектр задач [1]. ГИС оценки состояния технических сооружений защиты территорий от подтопления (ТСЗТП) решает ряд задач, связанных с обработкой и анализом данных о территориальных и технических объектов. ГИС это программная среда, которая обеспечивает работу с базами данных, реализует алгоритмическое обеспечение обработки и анализа данных, получения простых и сложных оценок, характеристик объектов, обеспечивает взаимодействие со

специалистом-экспертом, предоставляя информацию, необходимую для принятия управляющих решений.

Базы данных содержат не только объекты ТСЗТП, характеристики объектов территорий и результаты контроля, а также нормативные данные и требования к оценке состояния и расчету характеристик технических сооружений, характеристики административных и географических объектов, на территории которых находится ТСЗТП (атрибутивные данные).

Алгоритмическое обеспечение предоставления информации (визуализация, документирование) представляет развитый набор инструментальных средств хорошо проработанных в стандартных ГИС и поэтому в данной работе не рассматривается.

Ниже рассмотрим алгоритмическое обеспечение обработки и анализа данных, получения простых и сложных оценок, характеристик объектов – информационно-алгоритмического обеспечения ГИС мониторинга и оценки состояния технических сооружений ТСЗТП.

Информационно-алгоритмическое обеспечение ГИС направлено на решение следующих задач: районирование территорий, представление инженерных сооружений защиты территории от подтопления в виде объектов ГИС, представление результатов контроля и приведение их к нормированному виду, представление результатов экспертизы и приведение их к нормированному виду, предоставление результатов анализа в ранжированном виде в зависимости от состояния, степени риска или ущерба от подтопления.

Районирование территорий

Районирование территорий является важной процедурой, обеспечивающей удобное представление и систематизацию характеристик в ГИС. Районирование должно проводиться по нескольким принципам, отражающим функциональную организацию территории. Выделим следующие принципы районирования территорий: по существующему водосбору природной системе водосбора, по принадлежности (ответственного пользователя), по степени риска от подтопления.

Относительно решаемой задачи территориальная система (ТС) является определяющим системным элементом (понятием) в обеспечении нормального существования природных экосистем в естественных условиях, а также в условиях сельскохозяйственной, промышленной, строительной и др. областях деятельности человека.

Районирование по системе водосбора.

Место положения анализируемой ТС, как правило, определяется из соображений удобства реализации ее целевой функции (относительно существующих коммуникаций, источников сырья, потребителей и др.). При этом ТС может располагаться в пределах одной системы водосбора или в пределах нескольких естественных систем водосбора. В этом случае можно представить структуры ТС как совокупность одной или нескольких географических



территориальных систем: $G^* = \{k_1G_1, k_2G_2, k_3G_3, \dots\}$, где G^* – анализируемая ТС, G_i – естественные географические системы водосбора (ГеТС), коэффициент k_i отражает тот факт, что ТС G^* размещается на части G_i , $k_i \leq 1$.

Аналогично исследуемая территориальная система может быть представлена как совокупность административных подсистем или подсистем *по принадлежности*. Особый интерес представляет процедура, связанная с оценками степени риска от подтопления территории – районирование на основе оценки уровня урбанизации территорий.

Районирование по уровню урбанизации и оценки риска при подтоплении.

В соответствии с методическими рекомендациями по оценке риска и ущерба при подтоплении [2] могут быть определены «оценка степени опасности подтопления I_{oi} , подверженности застроенной территории опасными процессами, уязвимости объекта v_{yi} и риска от процесса подтопления на локальном уровне» (уровне подсистем g_i). Учитывая, что оценки «степень опасности подтопления» и «уровень урбанизации» имеют одну основу, связанную с целевыми функциями применения территории, районирование целесообразно проводить по последней характеристике.

Информационной основой критерия для районирования территории в этом случае является оценки уровня урбанизации. При этом, анализируемая ТС разбивается на более мелкие подсистемы – g_k . Для каждой подсистемы можно, с большой достоверностью, определить степень урбанизации ω_k . Вся система может быть представлена как совокупность выделенных подсистем

$$G^* = \{g_1, g_2, \dots, g_k, \dots\}.$$

В этом случае для каждой выделенной подсистемы в соответствии с ее целевой функцией может быть произведен расчет требуемых характеристик системы водоотвода $g_k = \{\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \dots, \omega_{km}\}$ и получена обобщенная характеристика $\Omega_{gk} = \text{SUM}_m\{\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \dots, \omega_{km}\}$, где SUM_k – оператор суммирования отдельных характеристик составляющих подсистем ТС: $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \dots, \omega_{km}$. Для каждой подсистемы можно, с большой достоверностью, определить ее класс $g_k = \{\omega'_k\}$. Вся система может быть представлена как совокупность выделенных подсистем [3].

В этом случае для каждой выделенной подсистемы в соответствии с ее целевой функцией может быть произведен расчет требуемых характеристик системы водоотвода и получена обобщенная характеристика. Оценка риска подтопления территории может быть представлена как [2] $R_{\Pi} = \sum_{i=1}^k v_{yi} I_{oi} \alpha_i$,

где α_i – коэффициент, определяемый отношением S_i/S_o , k – число разбиений территории G^* площадью S_o на непересекающиеся территории g_i площадью S_i , для которых получены оценки коэффициента опасности подтопления I_{oi} и коэффициента уязвимости подтопления v_{yi} .

Представление инженерных сооружений защиты территории от подтопления в виде объектов (ГИС)

ТСЗТП включает в себя ряд искусственных сооружений, каждое из которых выполняет определенные функции и может быть охарактеризовано некоторым множеством параметров (технических и технологических требований к его функционированию). В состав ТСЗТП входят мелиоративная сеть, каналы, колодцы, трубопереезды и др. которые организуют определенную схему сбора и отведения воды с анализируемой территории [4,5]. Определим способы представления структуры ТСЗТП удобные для анализа в геоинформационной технологии.

Пример структуры ТСЗТП, имеющей схему естественного водосбора с одним водоотводом показан на рисунке 1.

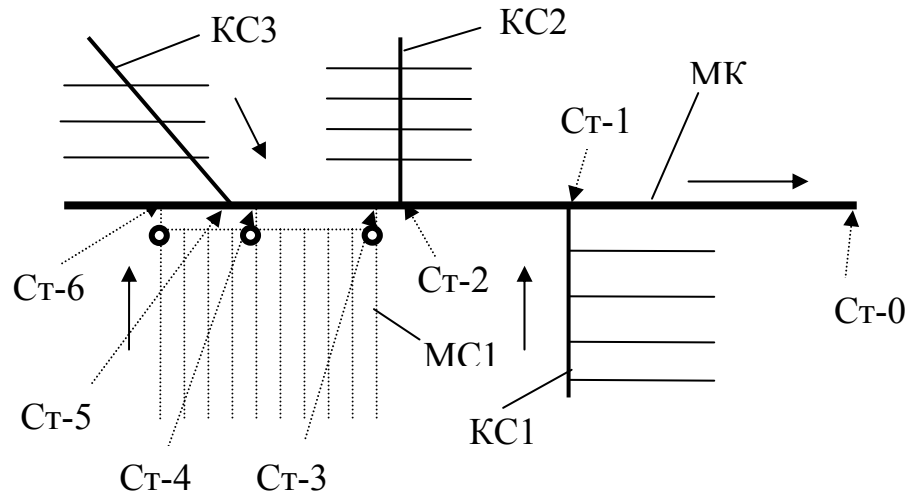


Рис.1. Древоподобная структура ТСЗТП

Схема полностью соответствует принятой структурной схеме для описания характеристик водотоков. Поэтому, целесообразно ее применить при описании и анализе состояния ТСЗТП. При этом, устье магистрального канала считаем «нулевой» отметкой. Устья средних и малых каналов, также являются «нулевой» отметкой каждого канала. Описание всей структуры ТСЗТП осуществляется относительно устья магистрального канала.

На рисунке 1 устье магистрального канала (МК) представлено как створ Ст-0. Створы магистрального канала МК, на которых в канал впадают (расположены устья) средние каналы (канал средний – КС) соответственно КС1 (Ст-1), КС2(Ст-2) , КС3 (Ст-5). Устья каналов мелиоративной системы МС1 (Ст-3, Ст-4, Ст-6).

При описании состояния канала должны использоваться как расчетные значения характеристик, так и значения, полученные в результате измерений



или экспертных оценок, полученные в процессе обследований во время проведения инвентаризационных работ.

Из описания канала видно, что оценка состояния канала является сложной, опирающейся на большое количество измеряемых величин. Это конкретные физические параметры и качественные экспертные оценки. Точность измерений определяется применяемыми средствами и методами измерений, а точность экспертных оценок определяется опытом эксперта. Ниже рассмотрим способы анализа этих оценок.

Для удобства описания структуры канала ГИС представим его характеристики в виде таблицы. В табл. 1. приведен пример описания структуры, показанной на рис. 1.

Таблица 1

Наименование канала: МК.					
Номер створа, Ст-№	Обозначение	Расстояние до устья, м	Ширина проектная/реальная, м	Глубина проектная/реальная, м	Оценка состояния, балл
0	Ст.0.КМ1	0	5/5	2/2	100
1	Ст.П.КС1	800	5/4.5	2/1.2	60
2	Ст.Л.КС2	1200	5/4.5	2/1.2	60
3	Ст.П.МС1-1	1300	5/5	2/2	100
4	Ст.П.МС1-2	1600	5/5	2/2	100
5	Ст.Л.КС3	1700	5/4.0	2/1.0	50
6	Ст.П.МС1-3	1900	5/4.5	2/1.2	60
7	Ст.П.КМ1	2100	5/4.5	2/1.2	60

В таблице «Ст.П.КС1» означает: на уровне данного створа на правом берегу МК находится устье канала КС1, «Ст.Л.КС2» означает: на уровне данного створа на левом берегу МК находится устье канала КС2 и т.д.

Кроме указанных гидротехнических сооружений на различных участках канала могут находиться другие сооружения. Например, автомобильные или железнодорожные переезды, трубопроводы и др. При проектировании канала могут быть определены дополнительные контрольные створы, связанные с географическими особенностями территории или административными требованиями. Все створы должны быть определены и занесены в таблицу описания, схему канала.

Для каждого створа на ГИС основе должны быть определены: условия формирования стока, требуемая (расчетная) пропускная способность в контрольных створах, для мостовых переездов и трубопереездов.

Оценка состояния канала в каждом створе производится на основании сравнения расчетных параметров и текущих значений параметров, полученных в результате измерений и обследований.

Представление результатов контроля и приведение их к нормированному виду

Для каждой территории в соответствии с ее целевой функцией определяются физические и гидрофизические характеристики инженерных сооружений.

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

Для получения результирующей оценки состояния того или иного 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. Т. е. если все результаты будут удовлетворять требованиям единства измерений [1].

Оценка характеристик территориальной системы

Одним из основных показателей территориальной системы (ТС) является *водный баланс*, который определяет условия существования и развития системы. Можно выделить следующие характеристики водного баланса территории:

естественные – определяемые естественными геофизическими условиями места нахождения анализируемой территории;

проектные (идеальные) – обеспечивающие наилучшие условия для реализации целевой функции использования анализируемой территории;

реальные – установленные в результате обследования территории специалистами-экспертами.

Естественные характеристики могут быть определены на основании географического описания места положения территории, схемы и характеристик водотоков и водоемов, расположенных на анализируемой ТС. А также оценки состояния отдельных участков – заболоченность, зарастание лесом и др. Перечисленные характеристики могут быть представлены как атрибутивные данные в ГИС, на основании которых можно сформировать результирующие оценки, характеризующие состояние ТС.

Естественные характеристики ТС определяются ее структурой и изначальными (историческими) целями ее использования. Основными характеристиками ТС являются: площадь водосбора $\omega_1 = S$, км²; количество осадков $\omega_2 = +V$, мм в год; количество испарений $\omega_3 = -V$, м³/м² в год; естественный отвод воды $\omega_4 = -V$, м³/год; искусственный отвод воды $\omega_5 = -V$, м³/год; характеристика состояния территории ω_6 : ω_{61} – осушено S , км² (%); ω_{62} – подтоплено S , км² (%); ω_{63} – заболочено S , км² (%); ω_{64} – поле S , км² (%); ω_{65} – кустарники S , км² (%); ω_{66} – лес S , км² (%); ω_{67} – асфальтобетонное покрытие S , км² (%).

Таким образом, каждая ТС характеризуется множеством параметров

$$G_n = \{\omega_{n1}, \omega_{n2}, \omega_{n3}, \dots, \omega_{nm}\},$$

где n – номер естественной ТС, m – номер параметра (характеристики ТС).

В этом случае характеристика анализируемой ТС G^* будет описываться как [3]



$$G^* = \{k_1 G_1 = \{\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \dots, \omega_{1m}\}\},$$

если ТС G^* включает только одну естественную ТС G_1 и

$$G^* = \{k_1 G_1 = \{\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \dots, \omega_{1m}\}, k_2 G_2 = \{\omega_{21}, \omega_{22}, \omega_{23}, \dots, \omega_{2m}\},$$

$$k_3 G_3 = \{\omega_{31}, \omega_{32}, \omega_{33}, \dots, \omega_{3m}\}, \dots \},$$

если ТС G^* включает несколько естественных ТС G_n .

Проектные характеристики определяются исходя из целей использования анализируемой ТС, перспектив развития ТС.

К проектным характеристикам отнесем: уровень урбанизации территории и уровень подтопления.

Уровень урбанизации территории $\omega_7 = S_y/S_{G^*}$.

Цели использования территории непосредственно связаны с характеристикой уровень урбанизации территории $\omega_7 = S_y/S_{G^*}$ [2].

Уровень подтопления определяются для каждого типа территории $\omega_8 - h_{нт}$, м.

В соответствии с СНиП 2.06.15-85 «Инженерная защита территорий от затоплений и подтоплений» в [2] определены основные виды подтоплений.

Реальные характеристики устанавливаются в результате обследования территории специалистами-экспертами. Виды реальных характеристик соответствуют видам естественных (географических) и расчетных. Например оценка уровня подтопления определяется для каждого класса территории 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; и формируются на базе серии измерений с определенной точностью и носит вероятностный характер. На рисунке 2 приведен пример такой оценки.

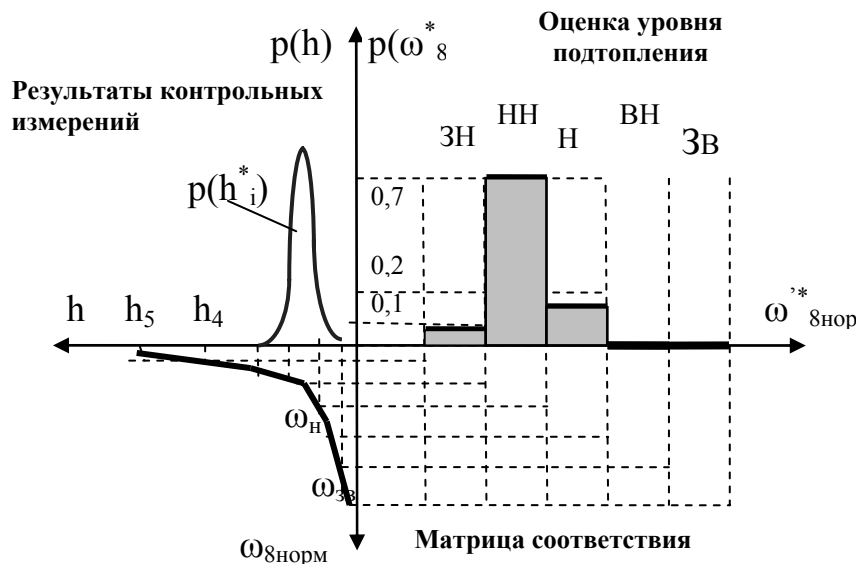


Рис. 2. Схема формирования оценки уровня подтопления территории по результатам контрольных измерений h_i^* .

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

Аналогичным способом могут быть получены нормированные значения других характеристик ТС.

Оценка состояния инженерных сооружений ТСЗТП

Рассмотрим вопросы, связанные с получением достоверной информации на основании контрольных измерений и экспертных оценок состояния канала, как основного элемента системы.

Получение данных контрольных измерений

Результат измерения представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Степень достоверности полученного результата зависит от погрешностей средств измерения (инструментальная составляющая, от влияющих воздействий), используемого метода измерения (методическая составляющая погрешности), принятой модели процесса (погрешность 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 $x^* \pm k\sigma$.

Таким образом, любой результат измерения может быть сведен к нормированной оценке состояния контролируемого объекта. В результате будет получено множество оценок контрольных измерений параметров состояния территории – $X_T = \{x_{Ti}^*\}$ и сооружений – $X_C = \{x_{Ci}^*\}$.

Получение экспертных оценок

Результаты обследований имеют свою специфику, которая отличается присутствием в оценке достаточно большой доли субъективного фактора. Получаемые оценки имеют случайный характер и могут иметь довольно большое смещение в зависимости от многих субъективных причин. Степень доверия к таким данным может определяться также экспертами.

Эксперт определяет значение характеристики в понятиях или отношениях, характеризующих ее значение, например: “средние повреждения” с вероятностью 0.85 – $x^* = \{\text{СП}, 0.85\}$; не хуже чем “незначительные повреждения” с вероятностью 0.7 – $x^* = \{\text{НП}, 0.7\}$; не лучше чем “значительные повреждения” с вероятностью 0.8 – $x^* = \{\text{ЗП}, 0.8\}$.



Значение каждой оценки определяет степень подтопления объекта и может быть связана с нормированными значениями характеристики объекта также как и результаты контрольных измерений. Степень достоверности определяется как результат статистической обработки протоколов обследования.

Результаты инвентаризации состояния территории представляют собой множество экспертных оценок параметров состояния территории – $E_T = \{e_{Ti}^*\}$ и сооружений – $E_C = \{e_{Ci}^*\}$.

Предоставление результатов анализа в ранжированном виде.

На основании полученных оценок, используя стандартные в ГИС средства, можно провести упорядочивание результатов для всех контролируемых объектов: ранжировать створы каналов по степени из опасности в зависимости от состояния, ранжировать каналы и другие сооружения СИЗТП, ранжировать территории по степени опасности от подтопления.

Особый интерес представляет задача нахождения наиболее опасных повреждений инженерных сооружений, приводящих к максимальному ущербу от подтопления. Данная задача может быть решена в ГИС следующим образом.

1. Все створы упорядочиваются в соответствии с убыванием оценки опасности (степени разрушения) подтопления $O_{ctrl\ max} = \text{SUM}_l \{X_{cl}, E_{cl}\}, \dots, \rightarrow O_{ctrl\ min} = \text{SUM}_l \{X_{cl}, E_{cl}\}$, где l – номер створа, принадлежащий множеству контролируемых створов L .

2. Для наиболее критических створов, имеющих значительные повреждения, на ГИС основе определяется территория подтопления, которая может включать несколько территориальных подсистем разного назначения – $G_{ctrl}^* = \{g_1, g_2, \dots, g_{kl}, \dots\}$, площадь которой равна $S_{ctrl} = \sum S_{gkl}$.

3. Для каждой территориальной подсистемы g_{kl} может быть получена оценка риска подтопления

$$r_{ckl} = v_{ykl} I_{okl}$$

где коэффициента опасности подтопления I_{okl} и коэффициента уязвимости подтопления v_{ykl} [2].

Оценка риска подтопления территорий G_{ctrl}^* , связанной с контролируемым створом l , в этом случае может быть получена 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_{ctrl}^* площадью S_{ol} на непере-

секающиеся территории g_{kl} площадью S_{kl} , для которых получены оценки коэффициента опасности подтопления I_{okl} и коэффициента уязвимости подтопления v_{ykl} .

4. Для каждого створа определенного в п.2, по результатам контроля рассчитывается оценка риска подтопления, которая непосредственно связана с величиной возможного наносимого ущерба от подтопления [2].

5. На основании полученных оценок риска подтопления может быть произведено ранжирование створов, каналов, территорий по степени опасности и риску подтопления – величине возможного наносимого ущерба. 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.

Заключение

Таким образом, геоинформационная технология обеспечивает формирование оценок состояния территориальных систем и инженерных сооружений ТСЗТП в виде послынного представления оценок, полученных на базе контрольных измерений и экспертизы. Характеристики состояния территорий и инженерных сооружений могут быть получены путем формирования ГИС проектов, учитывающих специфику анализируемых объектов. По результатам анализа полученных оценок все объекты могут быть представлены в упорядоченном – ранжированном виде. Такой подход является важным на этапе принятия решений и разработке планов развития территорий.

Библиографические ссылки

1. Алексеев В.В., Куракина Н.И. Измерительные системы и ГИС-технологии. СПб. ООО «Техномедиа» / Изд-во «Элмор», 2007.
2. Методические рекомендации по оценке риска и ущерба при подтоплении территорий / ФГУП НИИ ВОДГЕО, – М. 2001.
3. Алексеев В.В., Шишкин И.А. Районирование территорий на базе ГИС с целью оценки степени риска от подтопления / МНТК «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», – СПб, 2011 г.
4. СП 33-101-2003 Свод правил по проектированию строительства. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.
5. СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территорий от затоплений и подтоплений.