

КОМПЛЕКС ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ОТ НАВОДНЕНИЙ КАК ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ: СОЦИАЛЬНАЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Р.Р. Михайленко

Управление экологии и системы предупреждения наводнений

Федерального казенного предприятия «Дирекция комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации»

Эл. почта: rosaecol@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.11.2014; принята к печати 23.01.2015

Сделана оценка показателей риска и экономического ущерба от наводнений в Санкт-Петербурге, в том числе вероятностей наводнений разных масштабов, потенциальных зон затопления и величин ущербов при различных уровнях подъема воды. Проведено сравнение расчетных максимальных годовых уровней воды в период завершения строительства Комплекса защитных сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) и при его наличии. Эти исследования включены в основы разработки оперативных мероприятий, предотвращающих негативное воздействие наводнений в Санкт-Петербурге. Сделан обзор реальных экологических последствий возведения КЗС. Результаты исследований могут найти широкое применение для оценки ущербов от наводнений и разработки мероприятий по их предотвращению.

Ключевые слова: предупреждение наводнений, модель, риск, оценка ущербов, уровни воды.

**SAINT-PETERSBURG FLOOD PREVENTION FACILITY COMPLEX
AS A TECHNO-NATURAL SYSTEM FOR INTEGRATED MANAGEMENT OF WATER RESOURCES:
ITS SOCIAL, ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL BENEFITS**

R.R. Mikhailenko

Environmental and Flood Warning System Department of the Federal Governmental Enterprise «Directorate
of Saint-Petersburg Flood Prevention Facility Complex of the Ministry of Construction, Housing, and Public
Utilities of the Russian Federation» (Saint Petersburg, Russia)

E-mail: rosaecol@mail.ru

The risk parameters of floods in Saint-Petersburg are estimated and economies losses resulting from them are assessed. The estimates include the probabilities of floods, flooded areas and different aspects of damage depending on flood level. Calculated maximal annual water levels before and after the launching of Saint-Petersburg Flood Prevention Facility Complex (FPFC) are compared. Preventive measures against the hazardous effects of floods in Saint-Petersburg are suggested. The actual environmental and ecological impacts of FPFC are reviewed. The experience presented may be useful for assessing losses resulting from floods and for developing of measures for their prevention elsewhere.

Keywords: flood prevention, modeling, risk evaluation, damage assessment, water levels.

Введение

Наводнения относятся к категории опаснейших стихийных бедствий. Только за одно десятилетие с конца 1970-х по конец 1980-х гг. согласно данным ООН от них во всем мире пострадало 150 млн человек. По данным ЮНЕСКО наводнения за последние 100 лет унесли жизни 9 млн человек, тогда как от других стихийных бедствий (землетрясения, извержения вулканов, оползни и т. д.) погибло 2 млн человек. Наводнения обычно наносят колоссальный материальный ущерб, достигающий ежегодно почти 30 млрд долларов, составляя в некоторых странах 15% от национального валового продукта.

Санкт-Петербург со времени его основания в 1703 г. подвержен морским нагонным наводнениям, идущим с Балтийского моря, в среднем один раз в год. Поэтому разработке мер по защите города от наводнений уделялось особое внимание на протяжении всей его истории.

Наибольший ущерб происходил от наводнений в историческом центре Санкт-Петербурга по причине ценности его архитектурного ансамбля, исторических и культурных памятников, включенных в список охраняемых объектов ЮНЕСКО. Катастрофические наводнения 1877, 1824, 1924 гг. сопровождались огромными убытками.

Район Финского залива является узловым пунктом, где пересекаются пути целого ряда циклонов. Три четверти всех наводнений происходили в сентябре-декабре, когда над Балтийским морем обычно отмечается максимальная циклоническая деятельность. Во время наводнений затоплению могло быть подвергнуто при подъеме уровня воды (по Балтийской системе высот, БС) 2,0 м – до 6,5%, 3,0 м – до 17,1, 4,0 м – до 23,9, 5,0 м – до 27,2, 5,4 м – до 30% общей площади города.

Подъем воды, превышающий уровень 3,0 м БС, приводил к нарушению функционирования систе-

мы городской общесплавной канализации, наземного транспорта и метрополитена. Большой ущерб мог быть нанесен очистным сооружениям города, рассчитанным на подъем уровня воды до 2,8 м БС. В значительной степени были бы нарушены системы теплоснабжения и энергоснабжения города с опасными для жизни города последствиями, особенно в осенне-зимний период.

При наводнении 3,45 м БС повторяемостью один раз в сто лет затоплению подверглась бы пятая часть территории города с населением около 1,5 млн человек. При этом в зону затопления попадали бы крупные промышленные объекты, такие как Адмиралтейские верфи, объединение «Кировский завод», Морской торговый порт, очистные сооружения, а также художественно-исторические и материально-культурные ценности мирового значения – Петропавловская крепость, Адмиралтейство, Зимний дворец, Летний сад, Русский музей и др. В зоне затопления расположено свыше 200 зданий, построенных по проектам выдающихся зодчих XVIII–XIX вв. В приморской зоне города, помимо прямого затопления, могут иметь место большие разрушения зданий и сооружений по второй этаж включительно в результате воздействия на них морских штормовых волн.

При наводнении с уровнем воды 4,0–5,0 м БС могло бы произойти нарушение водоснабжения города в целом. Практически все предприятия затопляемой части города были бы остановлены.

Работы ученых ведущих институтов Санкт-Петербурга свидетельствуют, что деформация глобальных гидрометеорологических факторов, наблюдающаяся в последнее время, повышает вероятность наводнений, которые без ввода в эксплуатацию КЗС могли бы привести к катастрофическим наводнениям. Заметно увеличилась повторяемость наводнений – около 20% всех наводнений из 300-летнего ряда наблюдений приходится на последние 25 лет до завершения строительства КЗС. С ноября 2011 по январь 2015 г. в Санкт-Петербурге было предотвращено шесть наводнений с особо опасным уровнем.

Особенности и вероятность морских нагонных наводнений в Санкт-Петербурге

Возникновение наводнений – сложный и в большинстве случаев резонансный процесс, в котором, наряду с метеорологическими факторами, играющими основную роль, имеют большое значение факторы гидрологические и гидродинамические.

Приливы, изменения объема водных масс моря, колебания расходов реки Невы не создают опасных подъемов уровня воды. Величина каждой из этих составляющих не превышает 20–40 см.

Значительный успех в раскрытии природы невыхских наводнений был достигнут в конце XIX века. Появилась гипотеза, получившая название «волновой». Этому способствовало внедрение в практику синоптических карт, а также появление значительного числа станций на Балтийском море и Финском заливе, наблюдавших за уровнем воды.

Возникновение и формирование больших подъемов воды в Невской губе, вызывающих наводнения в Санкт-Петербурге, происходят в результате взаимодействия метеорологических и гидрологических процессов, действующих в акватории Балтийского

моря. Эти процессы связаны с нарушением равновесия водных масс моря при прохождении циклонов, вызывающих образование длинной волны и колебаний стоячих волн в Финском заливе.

Мощные циклоны, зарождающиеся в северной части Атлантического океана, двигаясь через Скандинавский полуостров и Балтийское море на северо-восток или юго-восток, захватывают большие пространства. Район Финского залива является узловым пунктом, где пересекается целый ряд путей циклонов. В связи с этим число циклонических явлений здесь значительно больше, чем в других районах Балтийского моря. Когда центр циклонов пересекает Балтийское море, сильные юго-западные ветры начинают перемещать воду к восточному и северо-восточному берегам моря. Благодаря ветровому воздействию и вследствие низкого атмосферного давления в центре циклонов повышается уровень воды моря в виде «вспученности», достигающей иногда значительных размеров за счет перемещения водных масс к центру циклона со всей периферии моря. При выходе циклона с акватории Балтийского моря и уменьшении действия ветра в соответствии с законами гидродинамики уровень поверхности моря стремится к выравниванию по всему бассейну.

Находясь в состоянии динамической неустойчивости, водные массы растекаются в виде волн во все стороны. Если эта волна перемещается к устью Невы при слабых ветрах и мало меняющемся градиенте атмосферного давления, ее называют свободной длинной волной. При подходе к горлу Финского залива такая волна имеет длину от 300–500 до 800–900 км. При высоте до 1,2 м объем воды может достигать 10 км³. По мере передвижения свободной длинной волны по Финскому заливу от горла к вершине высота ее постепенно растет за счет сужения и уменьшения глубины залива. Амплитуда волны на пути от Таллинна до Санкт-Петербурга увеличивается примерно в 2,5 раза за счет уменьшения глубины и сужения береговых линий. Только за счет длинной волны подъем воды в устье Невы может достигать 3,0 м. Примером наводнений, вызванных в основном свободной длинной волной, могут служить наводнения 25.11.1919 г., 11.11.1969 г.

Особенно значительное увеличение волны происходит, когда скорость перемещения длинной волны по Финскому заливу совпадает со скоростью перемещения циклона и атмосферного фронта. При этом возникает резонанс. В этих условиях длинную волну принято называть вынужденной длинной волной.

Помимо длинной волны в формировании наводнений участвуют, как правило, ветер и длинные стоячие волны (сейши). Наблюдения показывают, что подъем уровня воды в устье Невы за счет действия только ветра западного направления не могут превысить 2,0 м, а за счет сейш достигает около 1,0 м.

Наводнения, вызванные нагоном воды в устьевые участки реки, впадающей в узкие заливы, бухты и губы морей, называются нагонными. За наводнение условно принимается подъем уровня воды в устье р. Невы (водомерный пост «Горный институт») на 160 см выше «0» Кронштадтского футштока.

Средняя продолжительность стояния уровня у Горного института выше 1,6 м БС составляет 4 часа, максимальная – 7 часов, выше 2,0 м БС, соответственно, 3 и 4 часа. При подъеме уровня выше 3,0 м БС про-

должительность стояния уровня составляла 3 часа. Средняя продолжительность стояния уровня у Кронштадта выше 1,6 м БС составляет 4 часа, максимальная – 11 часов, выше 2,0 м БС, соответственно, 3 и 5 часов.

Наибольшие и катастрофические подъемы уровня воды чаще всего происходят осенью и в начале зимы (ноябрь-декабрь).

Ход уровня воды при каждом наводнении имеет свои особенности. Обычно подъемы бывают сложными, с несколькими пиками, и чаще всего второй больше первого. При подъемах свыше 160 см БС опасная отметка уровня достигается обычно за 5–7 часов после начала подъема, а иногда и значительно быстрее. Средняя скорость подъема уровня ($V_{\text{п}}$) достигает 25–30 см/ч. Однако в отдельных случаях она может значительно отличаться. Например: 5 декабря 1913 г. $V_{\text{п}} = 5\text{--}10$ см/ч, 13 октября 1916 г. $V_{\text{п}} = 50\text{--}70$ см/ч, 15 октября 1929 г. $V_{\text{п}} = 56$ см/ч. Максимальная из отмеченных скоростей подъема уровня (30 апреля 1914 г.) превышала 100 см/ч (рис. 1).

Исторические и летописные данные свидетельствуют о том, что подъем уровня во время наводнений

может быть больше, чем в 1824 и 1924 гг. Так, по летописным сведениям в 1300 г. «свершилось невероятное – река Волхов потекла “вспять”», несмотря на большой перепад уровня озера Ильмень по отношению к Ладоге. Это могло быть лишь при небывало высоком подъеме уровня в вершине Финского залива (около 5 м), что и обусловило «перелив» этих вод через Ивановские пороги.

Экстремальное наводнение (вероятный уровень над ординаром около 4,5 м) наблюдалось и в 1691 г., когда была залита крепость, расположенная в устье реки Охты.

Санкт-Петербург, основанный на низменных болотистых островах и прибрежных территориях дельты реки Невы и Невской губы, был подвержен частым наводнениям. За 308 лет существования Санкт-Петербурга без защиты от наводнений (до ввода КЗС в эксплуатацию в 2011 г.) были зафиксированы 308 наводнений с подъемом уровня более 160 см БС, из них три катастрофических с подъемом воды на 3,21 м БС (27.09.1777 г.), 4,21 м БС (19.11.1824 г.) и 3,80 м БС (23.09.1924 г.), которые принесли наибольший ущерб и сопровождались многочисленными человеческими жертвами (рис. 2).

Три четверти всех наводнений происходили в осенне-зимний период, когда над Балтийским морем обычно отмечается максимальная циклоническая деятельность. Наиболее сильные из декабрьских наводнений, с подъемом воды выше 2 м БС, были в 1752, 1874, 1898, 1964, 1973, 1986 гг.

В период с 1980 по 2011 г. в Санкт-Петербурге было зарегистрировано 57 наводнений, что составляет около 20% общего числа наводнений (308). При этом указанный период времени – 30 лет – составляет около 10% всего времени наблюдений за уровнем воды в р. Неве с 1703 г.

В связи с глобальным изменением климатических процессов в последние три десятилетия более чем в два раза повысилась повторяемость наводнений в Санкт-Петербурге, а также произошел сдвиг наибольшей частоты наводнений с осеннего периода на зимний (рис. 3). Свидетельства наводнений недавнего времени можно видеть на рис. 4.

Вероятности наводнений разного уровня в Санкт-Петербурге составляют: 160 см – раз в 1 год; 200 см – раз в 3,3 года; 220 см – раз в 4,5 года; 300 см – раз в 40 лет; 400 см – раз в 350 лет; 500 см – раз в 5000 лет; 540 см – раз в 10000 лет. Оценку размера затопленной территории при подъеме воды до 5 м можно видеть на рис. 5.

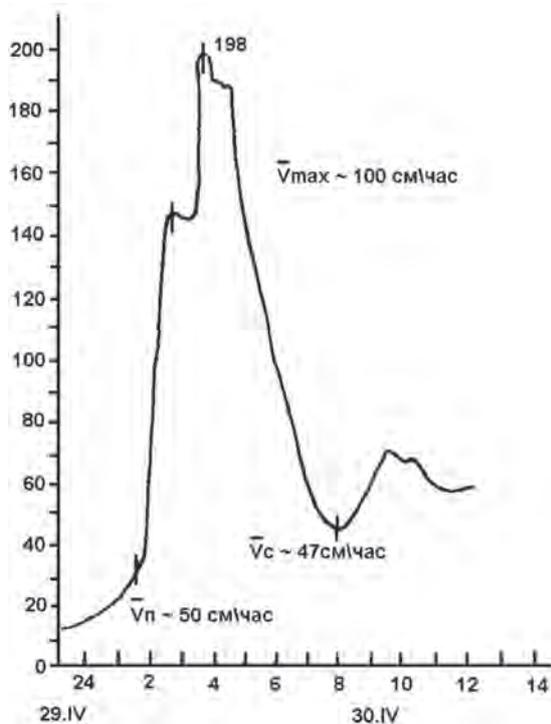


Рис. 1. Ход уровня воды во время наводнения 1914 г.

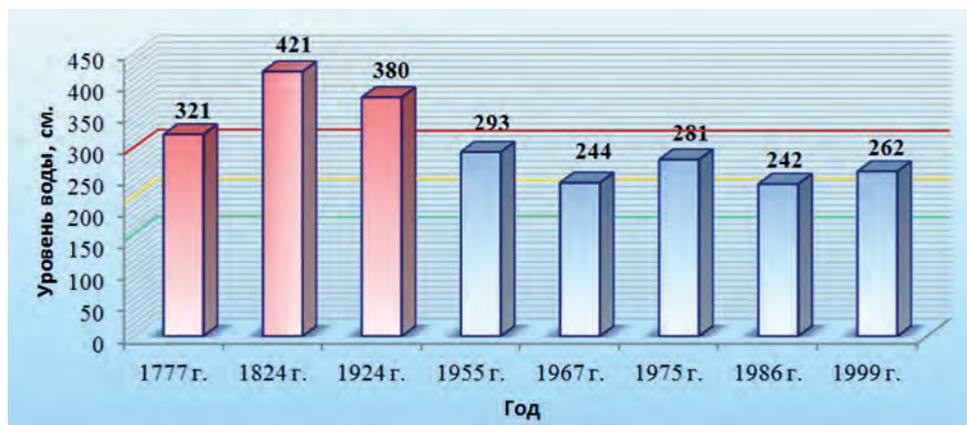


Рис. 2. Катастрофические и опасные наводнения в Санкт-Петербурге

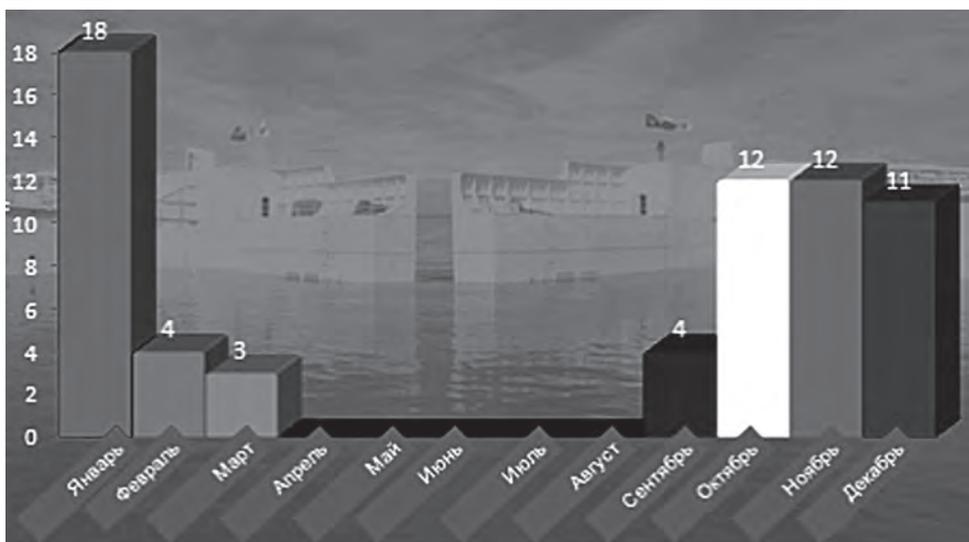


Рис. 3. Количество наводнений в Санкт-Петербурге с 1979 по 2010 г.



Садовая улица в районе ул. Мясникова при начале наводнения 23 сентября 1924 г. Фото Булла



Съездовская линия Васильевского острова около 13 ч. 18 октября 1967 г. (максимум 244 см в 13 ч. 30 мин). Фото В.А. Караулакова



Набережная р. Фонтанки 30 ноября 1999 г.

Рис. 4. Фотографические свидетельства наводнений в Санкт-Петербурге



Рис. 5. Затопляемые территории Санкт-Петербурга при подъеме уровня воды на 5,0 м БС. Схема подготовлена автором на основе ГИС предупреждения наводнений и оценки ущербов в Санкт-Петербурге, 1999 г.

В 1999 г. в рамках международного проекта «Геоинформационная система предупреждения наводнений в Санкт-Петербурге и оценки ущерба» впервые была создана модель, позволяющая определять зоны потенциального затопления территорий города при подъеме уровня воды от 1,5 до 6,0 м относительно нулевой отметки Балтийского моря на основе цифровой карты города, отображающей рельеф местности, а также рассчитывать экологический и экономический ущерб от наводнений. Примеры таких оценок приведены на рис. 6.

Модель оценки экономического и экологического ущерба от наводнений и разработанная геоинформационная система предупреждения наводнений (авторы Р.Р. Михайленко и М.Г. Джанелидзе), результаты модельных расчетов и разработанной ГИС востребованы многими организациями, в том

числе Главным управлением по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям Санкт-Петербурга, Комитетом по земельным ресурсам и землепользованию Санкт-Петербурга, Государственным унитарным предприятием «Водоканал Санкт-Петербурга» и другими пользователями.

В качестве критерия при назначении числового значения расчетной гидрологической характеристики принимается ежегодная вероятность превышения (обеспеченность) этого значения, устанавливаемая нормативными документами [1].

При определении уровней подъема воды необходима оценка параметров пространственно-временного распределения подъема уровня воды в акваториях устья Невы, Невской губы и восточной части Финского залива. Для этого необходимо рассчитать максимальные годовые уровни воды с учетом ги-

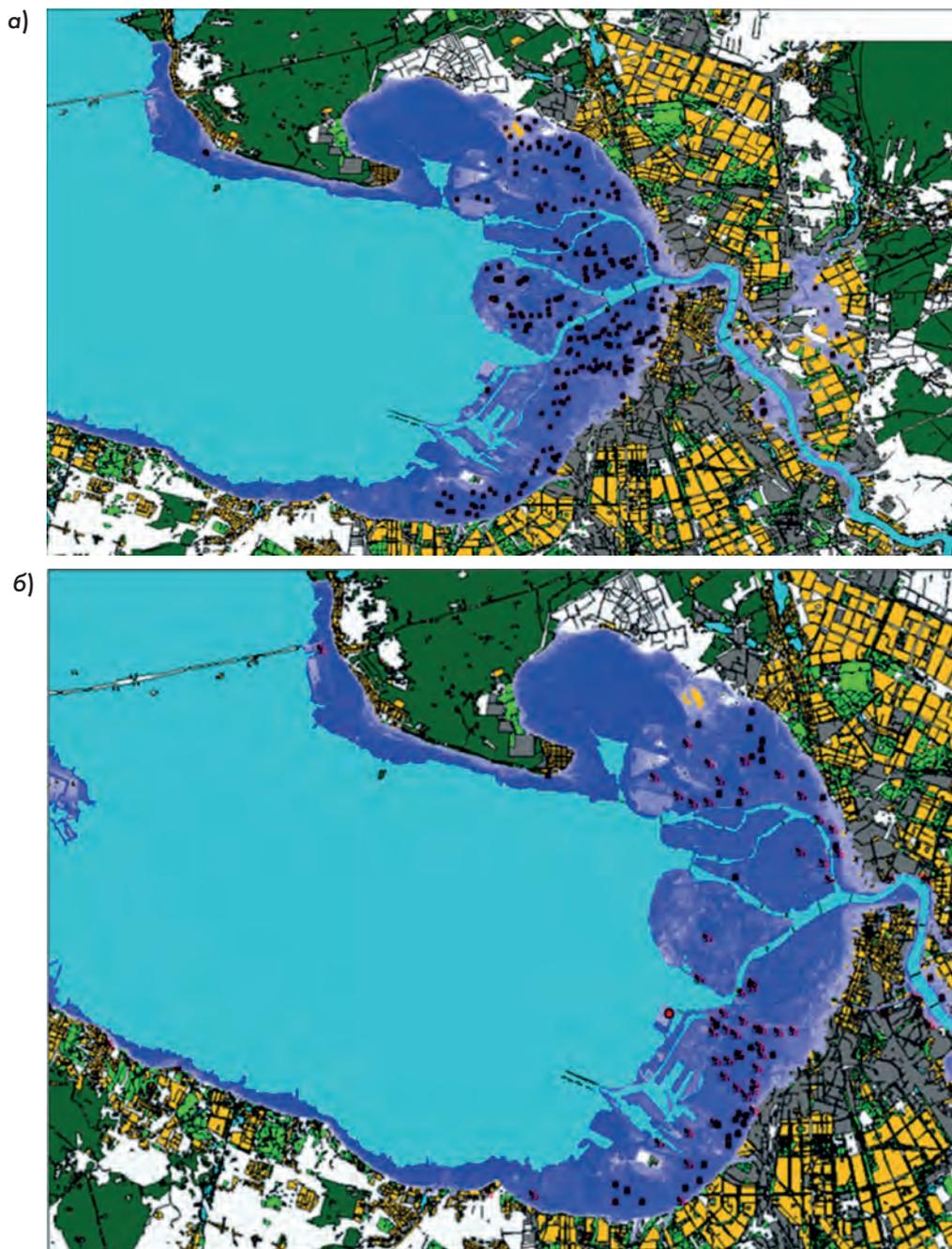


Рис. 6. Социально значимые объекты Санкт-Петербурга (обозначены черными точками) при максимальном уровне подъема воды (+5,4 м БС): а) учебные заведения; б) экологически опасные объекты

дрометеорологических условий. В данном разделе использованы результаты расчетов, выполненные ЦГМС-Р (автор Г.Н. Бессан), по контракту с Управлением «Морзащита», приведенные в отчете НИР «Создание автоматизированного прогноза наводнений для АСУ КЗС» [2].

В связи с необходимостью учета глобальных климатических изменений в последние десятилетия, а также в связи с завершением строительства КЗС было выполнено сопоставление кривых обеспеченности, построенных по рядам 1691–1976 гг. до начала строительства КЗС с данными рядов наблюдений за период 1691–2005 гг. при наличии КЗС.

В последние три десятилетия в большинстве случаев (1981–2010 гг.) на зимний период года приходились и максимальные годовые уровни.

По откорректированным и дополненным 30-летним рядом наблюдений данным (1691–2005 гг.) Г.Н. Бессаном [2] были построены кривые обеспеченности. Проведено сравнение расчетных максимальных годовых уровней воды в существующих условиях недостроенного КЗС и при наличии КЗС. Рассчитаны матрицы поправок для пунктов северный и южный створы КЗС, Литейный мост, Горный институт, Ломоносов, Кронштадт, Зеленогорск, Озерки, Шепелево.

Расчеты максимальных уровней в створе КЗС со стороны Финского залива и на прилегающей акватории восточной части Финского залива в проектных условиях были выполнены по методике Государственного гидрологического института (ГГИ) [3].

По кривой обеспеченности максимального годового уровня у Кронштадта, рассчитанной по удлиненному ряду наблюдений до 2005 г. и принятой для южного створа КЗС со стороны Финского залива в проектных условиях, был определен участок, на котором значение Δn_{\max} постепенно уменьшается от 11 до 0% (до уровня, соответствующего 160 см БС). На кривой обеспеченности Кронштадта это соответствует 35% обеспеченности.

Для остальных кривых обеспеченности максимальных годовых уровней в восточной части Финского залива в проектных условиях диапазон $5 < P \leq 35\%$ также принят для постепенного снижения значений Δn_{\max} .

Водообмен между Невской губой и Финским заливом в обычных условиях осуществляется через открытые судо- и водопропускные сооружения. В период наводнений Невская губа превращается в закрытый водоем. За счет стока р. Невы уровень в губе начинает постепенно повышаться. Одновременно на водную поверхность губы воздействует сильный ветер западного или юго-западного направлений, создавая нагон в устье р. Невы и сгон у КЗС. В результате совместного влияния неевского стока и ветра западной четверти в устье р. Невы могут наблюдаться подъемы воды [2].

За последние 30 лет, начиная с 1981 г., прослеживается тенденция подъема уровня воды в вершине Финского залива [4], что, возможно, увеличивало риски наводнений. Это обусловлено общим повышением уровня Балтийского моря, связанного с глобальными изменениями климата Земли.

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что защитные сооружения практически не оказали влияния на режим суммарного уровня Невской губы.

Экономический и экологический ущерб от наводнений

Методы оценки ущерба от наводнений

При наводнениях возникает ущерб, который зависит от множества факторов. В общем виде они подразделяются на:

- факторы, которые описывают процесс и характеристики наводнения: уровень воды в зависимости от времени, скорости течения, направление ветра, сила ветра, продолжительность наводнения, качество воды;
- факторы, относящиеся к характеристикам зоны затопления: размер площади затопления, население, строения, возможности оповещения, принятия мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий.

Ущерб от наводнений подразделяется на следующие виды:

- прямой ущерб;
- вторичный ущерб;
- ущерб от нерационального использования земель;
- социальный ущерб.

Сумма ущербов этих видов составляет величину полного ущерба.

К социальному ущербу относится гибель людей, нанесение ущерба их здоровью, снижение производительности труда, вызванное стрессом, и т. п.

Отрицательные последствия наводнений, то есть ущербы могут быть выражены как в натуральном виде – через объемы затопленных и испорченных водой основных и оборотных фондов, периодом времени простоя, объемами недовыпущенной продукции и т. п., так и в денежном выражении – в виде стоимости уничтоженных материальных ценностей, а также затрат на предупреждение, борьбу с наводнениями и ликвидацию их отрицательных последствий.

Основными группами, по которым необходимо учесть показатели экономического ущерба, являются:

- основные фонды (здания, сооружения, оборудование);
- оборотные фонды;
- проведение предупредительных и аварийно-спасательных работ;
- простой предприятий;
- утрата частного имущества граждан.

Кроме того, следует учитывать ущербы, вызываемые снижением капитальности зданий и сооружений и сокращением срока их службы.

Выбор метода определяется как целями оценки, так и качеством и доступностью исходной информации. Все методы оценки ущербов можно разделить на две большие группы: макроэкономические и микроэкономические методы. Макроэкономические позволяют оценить ущерб в общем, приближенном виде и не учитывают распределение затопляемых объектов по территории. Если макроэкономические методы являются исключительно расчетными и используют для оценки агрегированные показатели, то микроэкономические для большей точности требуют проведения обследования затопляемых объектов.

При макроэкономическом подходе ущерб от наводнений характеризуют 4 группы факторов [4].

1. Социально-экономические характеристики затопляемой территории:

- ее население;
- жилье, личное имущество;
- развитие инфраструктуры: образовательной, транспортной, энергетической, коммуникационной и т. д.

2. Производственные характеристики:

- производственные мощности и рабочие места (количество предприятий и лиц, занятых в различных секторах экономики, площадь предприятий);
- размеры различных категорий землепользования;
- стоимость земель;
- капиталовложения.

3. Уровень деловой активности, косвенно характеризуемой:

- валовым продуктом и добавленной стоимостью;
- налоговыми поступлениями.

4. Экологические характеристики.

При микроэкономическом подходе величина прямого абсолютного ущерба от наводнений должна устанавливаться по всем объектам основного и вспомогательного производства, административно-хозяйственного, коммунально-бытового, культурно-просветительного, торгово-складского и другого назначения, входящих в состав предприятий, организаций, учреждений города, а также по принадлежащим жителям объектам, которые были затоплены поверхностными или грунтовыми водами и через канализационные сети.

Для каждого объекта (или группы однородных объектов) выполняются специальные расчеты по определению ущерба в предположении затопления, подтопления или нарушения их работы и связанных с ними объектов при подъеме воды до всех расчетных уровней.

Расчетные уровни подбираются таким образом, чтобы обеспечивать установление связи между высотой подъема воды при наводнениях и ущербами и построение кривых ущербов. В качестве расчетных принимаются уровни 1,6; 1,8; 2,0; 3,0; 4,0; 5,4 м БС и минимальный уровень. Отметки последнего определяются для каждого конкретного предприятия на основании генплана и исполнительной документации, исходя из условий начала возникновения первых ущербов.

Таким образом, для экономической оценки ущерба от наводнений должны учитываться многие различные факторы. Для общей интегральной оценки ущерба необходимо учесть все возможные виды потерь. Трудной задачей является получение стоимостной оценки некоторых видов ущерба (например, экологического). Величина ущербов от наводнений по всем объектам ориентируется на уровень развития хозяйства на год, соответствующий наводнению.

Анализ данных по экономическому ущербу от наводнений

Анализ существующей информации показал, что имевшиеся фактические данные по ущербам от наводнений в Санкт-Петербурге явно недостаточны, что объясняется рядом причин:

- одновременность происшедших наводнений и, как следствие, одновременность оценок указанного ущерба (различного уровня развития городского хозяйства, разного уровня цен и т. д.);
- отсутствие сопоставимых данных по ущербам от наводнений, происшедших в Ленинграде, в связи с изменением экономической ситуации в стране и иной, чем ранее, структурой цен;

- неполнота учета всех затопляемых объектов и всей территории, подверженной наводнениям;
- неполнота оценок всех отрицательных последствий наводнения даже по учтенным объектам (как правило, учитывались лишь наиболее крупные ущербы);

- субъективность ряда оценок;
- отсутствие в учтенных ущербах информации для установления полного ущерба для города.

Новые экономические условия в России, изменившаяся структура собственности затрудняют сопоставление величин ущерба от момента начала их регистрации до настоящего времени.

Крупномасштабное исследование ущербов для Ленинграда от наводнений проводилось при обосновании строительства КЗС в 1970-х гг. [5]. В этой работе был сделан вывод о том, что имевшиеся разрозненные неполные данные учтенного ущерба могли характеризовать результаты только двух наводнений (1955 и 1967 гг.), средних по значению максимальных уровней. Исторические данные об ущербах от экстремальных наводнений совершенно не характеризовали ущербы на момент проведения исследования. В связи с этим авторами был предложен расчетный проектно-прогнозный способ определения народнохозяйственного ущерба от нагонных наводнений. Эта методика предполагала проведение расчетов для определения прямого ущерба, наносимого нагонными наводнениями любым объектам Ленинграда, для каждого такого объекта (или группы однородных объектов) определялись отрицательные последствия и затраты на их ликвидацию.

Была проведена оценка ущербов по состоянию на 1977 г. и дан прогноз на 1990 г. в соответствии с планируемым ростом промышленного сектора города.

Структура ущерба от наводнений по составляющим на уровне развития народного хозяйства 1990 г. в ценах 1984 г. приведены в табл. 1 [6].

Поскольку планируемые показатели экономического роста не были достигнуты, то в исследовании, проведенном в рамках предварительного технико-экономического обоснования строительства Комплекса защиты Санкт-Петербурга от наводнений для ЕБРР фирмой ГИББ в 1996 г. [7], использовались величины ущербов 1977 г. Они были проиндексированы с использованием дефлятора Министерства экономического развития.

Эта макроэкономическая оценка не учитывала изменений в составе затопляемых объектов и была лишь приблизительной. Ее уточнение требует применения микроэкономического подхода.

В крупном городе необходимым инструментом применения микроэкономического подхода является географическая информационная система (ГИС). Мировой опыт показывает, что в настоящее время ГИС является общепризнанным, эффективным средством для анализа данных и поддержки принятия решений при наводнениях.

Оценка экономического ущерба от наводнений на основе модельных исследований (ГИС оценки ущерба от наводнений)

Впервые на основе ГИС были созданы карты затопляемых территорий для Санкт-Петербурга. Эти карты включают подробную информацию о типах землепользования [8].

Табл. 1

Ущерб от наводнений в Санкт-Петербурге (млн руб. в ценах 1984 г.)

Отметка уровня воды, м БС	1,6	1,8	2,0	3,0	4,0	5,0
Общий ущерб	1,50	2,40	6,26	472,1	1519,7	2644,8
Ущерб по основным фондам	0,73	1,09	3,18	205,6	568,2	875,3
В том числе:						
по зданиям	0,41	0,62	1,06	109,5	256,0	864,8
по сооружениям	0,16	0,18	1,47	28,8	118,0	185,1
по оборудованию	0,16	0,29	0,65	67,3	194,2	325,4
по оборотным фондам	0,46	0,71	1,76	180,9	533,0	903,3
Расходы на меры предупреждения ущерба	0,11	0,18	0,32	5,1	13,4	18,7
Потери за время простоя	0,18	0,40	0,98	59,8	169,8	309,5
Потери по личному имуществу	0,02	0,02	0,02	20,7	235,3	538,0

Табл. 2

Оценка ущерба от наводнений в Санкт-Петербурге в разных масштабах цен

Уровень воды (БС)	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
Ущерб от наводнений в ценах 1977 г. (млн руб.)*	1,0	4,4	213,2	693,3	1198,7
Ущерб от наводнений в ценах 1995 г.**					
млн руб.	7085	31174	1510522	4912031	8492790
млн \$ США	1,57	6,93	335,67	1091,56	1887,29

* Общий ущерб в соответствии с Техническим проектом строительства КЗС по уровню развития экономики города на 1977 г.

** Ущерб, пересчитанный в цены 1995 г.

Поскольку подобная картографическая информация не была доступна ранее, и большинство используемых карт было приблизительно 40-летней давности, эти современные вновь составленные карты представляют большой практический интерес для широкого круга пользователей.

На рис. 7 представлены площади затопления территории города при различных уровнях подъема воды, рассчитанные в ГИС.

Структура ГИС представлена на рис. 8. Это основа, которая может развиваться и совершенствоваться. Модель ГИС может быть использована как для микроэкономической оценки с достаточной детализацией. Микроэкономический подход был особенно важен при принятии решений в случае катастрофических наводнений с высокой интенсивностью подъема воды.

Был определен перечень информационных слоев на основе баз данных (БД), необходимых для использования ГИС.

Функционально БД разделились на следующие типы:

- промышленные предприятия;
- потенциально опасные объекты;
- объекты социально-культурного назначения;
- учреждения образования;
- объекты транспорта;
- объекты связи и коммуникации;
- городские структуры;
- силы и средства ликвидации ЧС;
- инженерные коммуникации;
- медицинские объекты;
- объекты торговли;
- прочие.

В разработанную ГИС для предупреждения наводнений в Санкт-Петербурге и оценки ущерба на основе накопленных баз данных были введены информационные слои с их привязкой к возможным зонам затопления. Слои разрабатывались с учётом возмож-

ности выбора используемых данных и возможностью их отбора по запросу.

В первую очередь создавались слои потенциально опасных объектов в соответствии с их классификацией, слои с рассчитанными зонами разливов сильнодействующих токсичных веществ и пр. Затем создавались слои с детализированными схемами предприятий с привязкой их к местности и указанием мест расположения хранилищ опасных веществ.

Создание остальных слоёв ГИС было связано с уточнением социально-демографических данных, таких как численность населения в административных районах, количество стационарных мест в медицинских учреждениях, учебных заведениях и на предприятиях. Эти данные были предусмотрены для использования в создании функциональной задачи по эвакуации населения из зон затопления.

В качестве топографической основы геоинформационной системы Санкт-Петербурга была использована электронная карта города масштаба 1:10000 с прилегающими окрестностями и частью Невской губы, включая остров Котлин и сооружения защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Данный масштаб выбран исходя из следующих соображений: отображаемые на данном масштабе карт территории и объекты позволяют их классифицировать, разделять по группам назначения и создавать базы данных как на отдельные объекты, так и на их группы. Более крупные масштабы повлекли бы значительное увеличение объема информации, что могло бы затруднить работу ГИС. Более мелкие масштабы карты в значительной мере обобщают различные типы территорий и строений, что могло затруднить определение размеров ущерба для конкретных объектов и территорий.

Каждый объект представляет собой зону затопления и идентифицируется превышением уровня воды. Превышение уровня разделены на 10 зон с шагом 0,5 м. Первый уровень затопления равен 1,5 м. Этот слой создан на основе высотных отметок территории

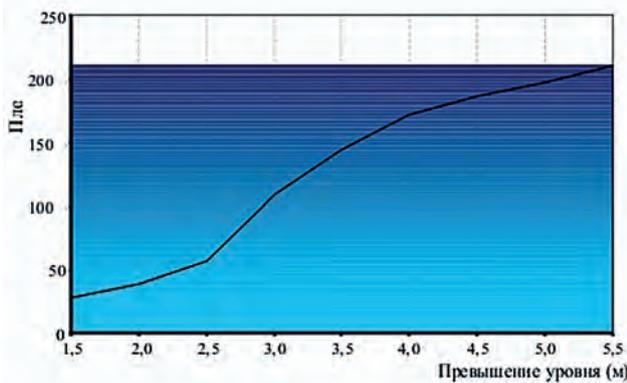


Рис. 7. Зависимость площади затопления города от превышения уровня воды

города, отображенных на планах масштаба 1:500 треста геодезических работ и изысканий Комитета по архитектуре и строительству (ГРИИ).

По действующим нормативным документам горизонтали (изогипсы) через 0,5 м на застроенной территории не проводятся. Точность рельефа города на имеющихся картах с горизонталями через 1 м не удовлетворила бы условиям создаваемой геоинформационной системы в самой ее существенной части, касающейся определения границ затопления при определенных уровнях подъема воды.

С планов города масштаба 1:500 были отобраны все отметки поверхности земли, по которым проведены горизонтали через 0,5 м. Общее число использованных отметок превышает 10000. Исходя из технических требований и точностных характеристик планов масштаба 1:500 можно достаточно уверенно считать, что ошибка в положении горизонтали по высоте не превышает 20–25 см. Составленный рельеф приведен к масштабу 1:10000 и наложен на плановую основу.

Карта состоит из нескольких слоев, таких как:

- Объекты городской застройки.

Этот слой включает полную информацию о расположении жилых и промышленных зданий, в том числе небольшие хозяйственные постройки, гаражи и трансформаторные будки. Первоначально слой состоял из 79509 объектов. 20766 строений представляют объекты нежилого фонда.

- Границы города и административные районы.

Этот слой содержит контуры административного деления города по состоянию на декабрь 2005 г. Всего 19 районов общей площадью 1483,8 кв. км.

- Улицы, дороги, проезды, шоссе.

Этот слой содержит объекты городских и пригородных улиц. Всего в слое 26410 объектов.

- Слой железнодорожных сообщений.

В этом слое отображены вокзалы, станции, железнодорожные пути, путепроводы. Всего в слое 346 объектов.

Модель расчета экономического ущерба была разработана в 1999 г. с учетом необходимости и возможности постоянной актуализации данных и создания дополнительных слоев электронной карты ГИС.

Примеры слоев ГИС для оценки последствий затопления представлены на рис. 9.

Было проведено обновление пространственного положения и добавление объектов тематических слоев ГИС, а также уточнение и корректировка характеристик объектов и параметров, необходимых для

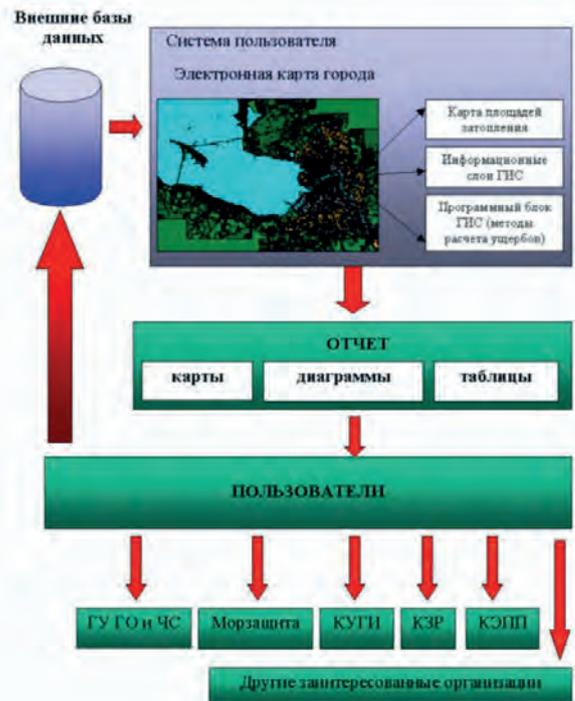


Рис. 8. Схема структуры ГИС

функционирования ГИС в соответствии с их текущим состоянием. Корректировка была проведена по следующим основным тематическим слоям:

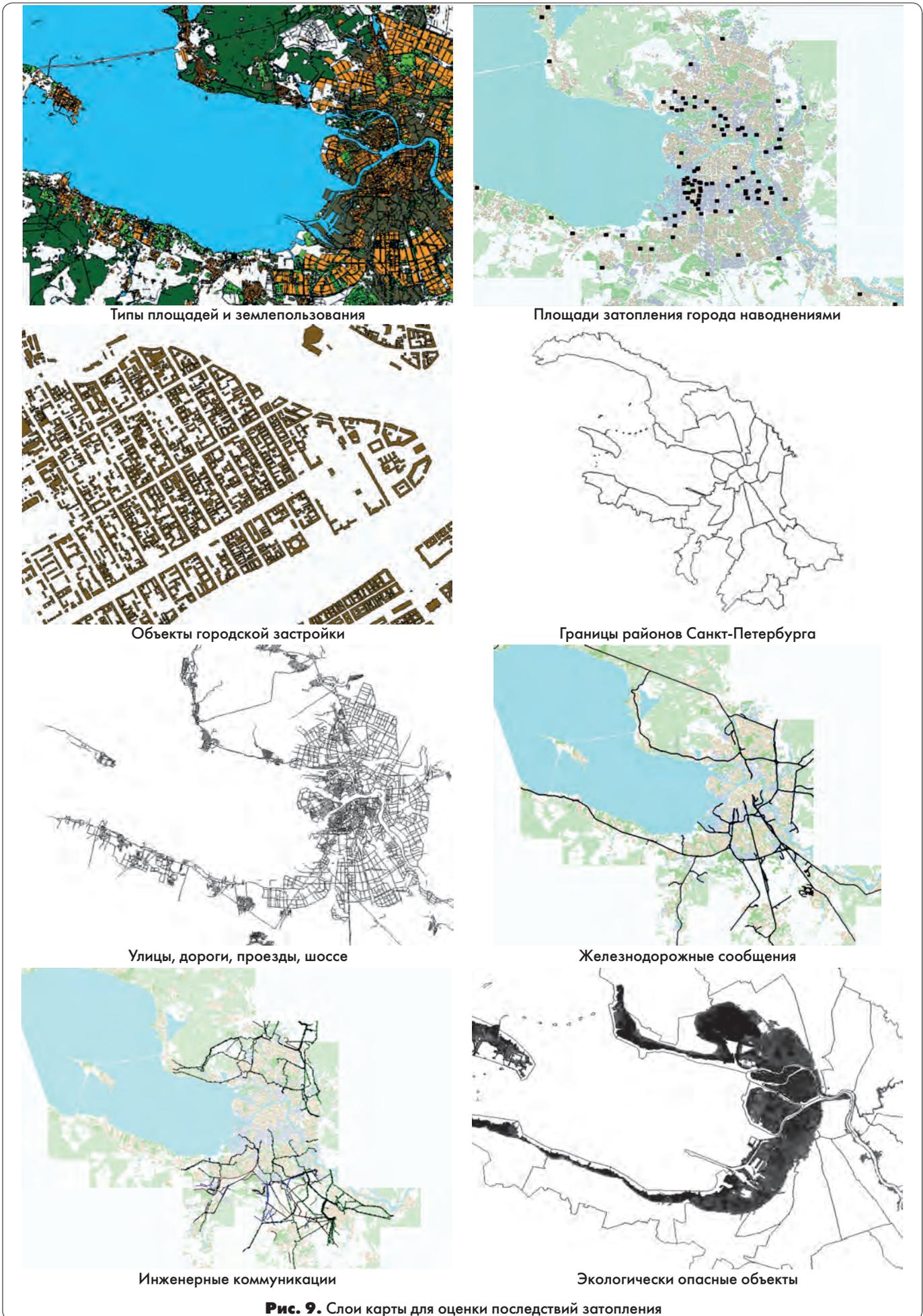
- промышленные предприятия;
- объекты социально-культурного назначения;
- жилые здания;
- учреждения образования;
- объекты транспорта;
- медицинские объекты;
- объекты торговли и обслуживания;
- исторические и культурные памятники.

Программа, при помощи которой проводится расчет экономического ущерба, разработана в среде Avenue. Прежде всего, программа определяет превышение уровня, установленного на данный момент в ГИС. После этого идет подсчет объектов, попадающих в зону затопления. Далее для каждого объекта подсчитывается ущерб с учетом его площади и уровня затопления. Общий ущерб для города определяется путем суммирования ущербов для всех объектов. Результаты расчета выводятся в виде отчета о затоплении. Вид отчета и схема расчета представлены на рис. 10 и 11.

Для удобства расчетов экономического ущерба и просмотра диаграммы в интерфейс оболочки GIS были добавлены соответствующие пункты меню, позволяющие получать доступ к управляющим программам. В программе также предусмотрен просмотр компонентов ущерба по отраслям в виде диаграммы. Построение диаграммы происходит в автоматическом режиме с использованием соответствующей дополнительной программы.

Экономическая оценка экологического ущерба от наводнений

В пределах Санкт-Петербурга действуют многие вредные факторы, в том числе химическое и микробное загрязнение при минимальной способности



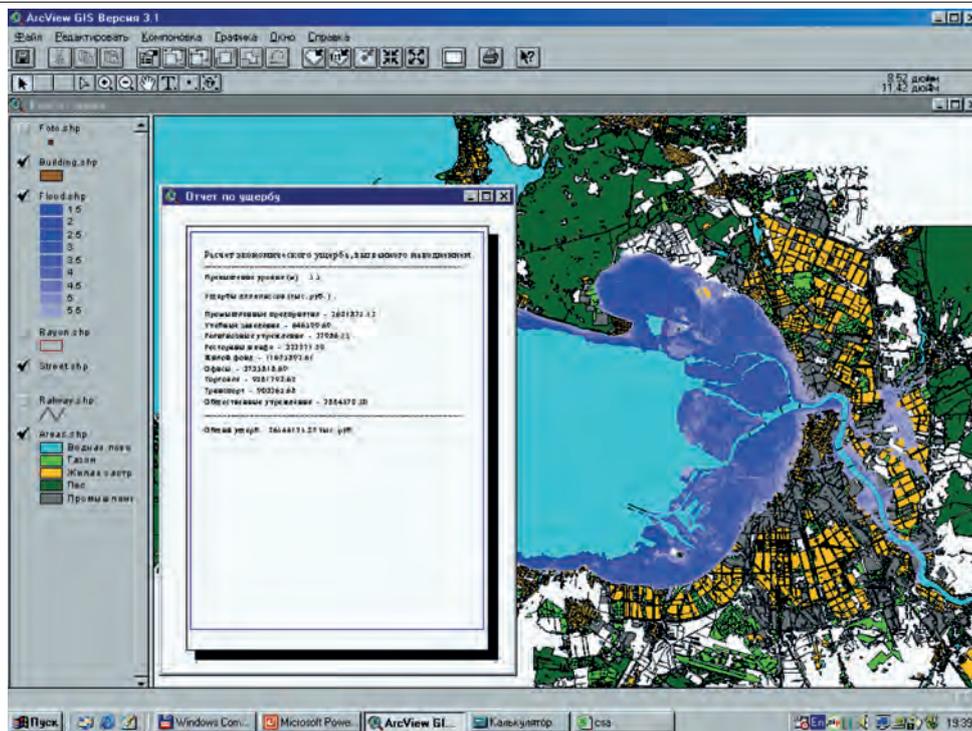


Рис. 10. Интерфейс создания отчета по экономическому ущербу

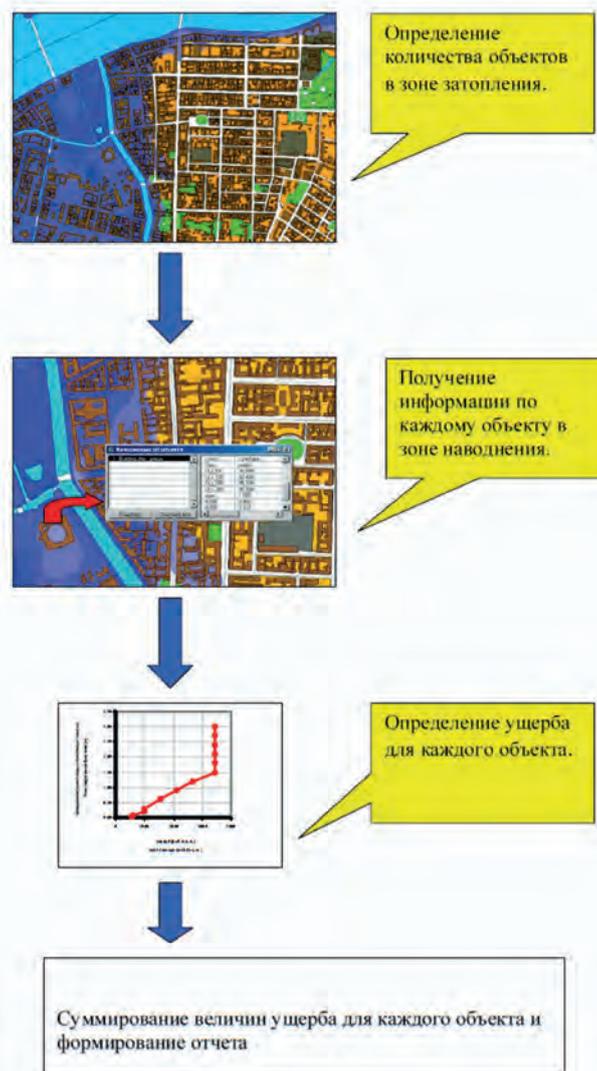


Рис. 11. Этапы расчета экономического ущерба в ГИС

грунтов, почв и вод к самоочищению. Особую опасность представляют сочетания загрязнителей, контакт которых приводит к образованию соединений, во много раз более опасных для организмов, зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, особенно возникающих в результате переувлажнения при наводнениях. В настоящее время действуют множество предприятий, создающих многомерное экологическое загрязнение с эффектом синергетического воздействия на природную среду. По результатам экологического анализа, проведенного в рамках осуществления проекта создания геоинформационной системы для предупреждения наводнений, установлены объекты, улицы, микрорайоны и районы с наибольшей экологической опасностью.

Одной из главных проблем Санкт-Петербурга в условиях наводнений является ухудшение качества воды в р. Неве, Невской губе и восточной части Финского залива. Создается серьезная угроза водоснабжению города питьевой водой.

Санкт-Петербург имеет близлежащий источник пресной воды – реку Неву, и поэтому все водозаборы станций водоподготовки находятся в черте города. Водоснабжение в период наводнений в Санкт-Петербурге может значительно ухудшиться.

Нева имеет среднегодовой сток 78,5 км³/год. Водопотребление в Санкт-Петербурге составляло на момент исследований в 1999 г. 1,854 км³/год. Сброс сточных вод в Неву – 1,468 км³/год, при этом загрязненных – 1,310 км³/год.

Основная доля загрязняющих веществ, попадающих в Неву в период наводнений, приходилось на коммунально-бытовые и промышленные канализации.

Серьезную опасность для Санкт-Петербурга представляла экологическая обстановка в Невской губе. Количество кишечных палочек в 1 л воды в этом районе превышало нормы в 10–100, а в отдельных случаях и в 10 тыс. раз.

В реках Мойке, Фонтанке и других загрязнение донных отложений достигает высоких значений, и при наводнениях это могло служить значительным источником загрязнений.

В целом экосистема Невской губы и восточной части Финского залива постоянно в течение многих лет подвергается загрязнению от различных антропогенных источников (сток р. Невы, сбросы биогенных элементов и токсичных металлов очистными комплексами, береговые сбросы промышленных объектов и сельского хозяйства, судоходство и т. д.). Объемы попадающих в систему сточных вод и вредных веществ нерегулярны, варьируются во времени и в пространстве. Поэтому уровни загрязнения и качество вод претерпевают существенные колебания.

Характерно, что зоны сильной и очень сильной загрязненности расположены вдоль берегов, то есть именно на тех участках, которые в первую очередь могли подвергаться затоплению.

Загрязненность почвы строго приурочена к источникам загрязнения – промышленным предприятиям и топливно-энергетическим объектам. Наибольшую площадь занимала зона загрязнения серой. Органические соединения локализуются в пределах черты города. Область загрязнения почв тяжелыми металлами – промышленные районы городской застройки. Средняя концентрация олова, свинца, ртути, меди, сурьмы, кадмия превышала на отдельных участках

ПДК. По 15 другим тяжелым металлам также превышались ПДК.

При наводнениях происходил смыв загрязняющих веществ в водные объекты.

Санкт-Петербургский регион насыщен различного рода промышленными объектами. В городе также имеются предприятия, хранящие химически и экологически опасные вещества. Часть этих предприятий попадала в зону затопления города (рис. 12). Для вычисления экологического ущерба в результате пролива загрязняющих веществ в ГИС был подготовлен слой, содержащий предприятия, на территории которых находятся хранилища этих веществ.

Наводнения, кроме подъема уровня воды, как правило, сопровождаются дождями, в результате чего все загрязнение воздуха и почв смываются в воду и усугубляют экологические последствия от наводнений.

Экономическая оценка экологического ущерба от наводнений с требуемой точностью может быть учтена и определена только для обычных, часто встречающихся наводнений. Для большинства наводнений с подъемом воды свыше 2,5 м БС, а тем более катастрофических, когда нормальная жизнь города на несколько дней нарушалась, это сделать чрезвычайно трудно. Влияние таких бедствий косвенным путем распространяется на многие области и сферы города.

При оценке экологических ущербов в ГИС, как дополнительные факторы, учитываются конкретные гидрометеорологические условия, при которых происходят наводнения: максимальная длительность стояния воды, интенсивность подъема и спада, направление и скорость ветра, высота волны и прочие погодные факторы, заблаговременность прогноза наводнения.

Расчеты экологических ущербов могут быть выполнены для каждого расчетного уровня наводнений.

Определены наиболее опасные с экологической точки зрения объекты. Это крупные промышленные предприятия, больницы, нефтехранилища, свалки промышленного мусора.

В период после наводнения содержание растворенного кислорода повышалось в среднем на 4%, загрязнение воды органическими веществами по БПК-5 повышается после наводнения на 54,5%, концентрация минерального фосфора – на 211, общего фосфора – на 172, азота аммония – на 43%, содержание азота нитритов понижается в среднем на 65%, азота нитратов – на 3,8%. В период после наводнения наблюдалось увеличение уровня загрязнения воды биогенными элементами. Бактериологические показатели связаны с фекалиями и также превышают норму.

Ущерб от остановки ЦСА зависел от фактора времени выхода из строя очистных сооружений, так как все городские стоки в этот период будут идти без очистки в Невскую губу. При подъеме уровня воды свыше 3 м ЦСА, находящаяся на острове Белый, выходила бы из строя в результате остановки основных электромеханических узлов. В период остановки ЦСА все стоки будут поступать без очистки в устье р. Фонтанки.

Сушественными источниками загрязнений поверхностных вод и почвы являлись катастрофические стоки предприятий и ливневые воды, сливаемые с промплощадок, эксплуатация предприятий по ремонту транспортных средств, котельных, автобаз,



Рис. 12. Предприятия города в зоне максимального затопления

складов горюче-смазочных материалов и железнодорожных объектов. Отходы медицинских учреждений являлись источником инфицированных отходов и подлежат дезинфекции на территории медицинских учреждений перед направлением их в поток бытовых отходов.

По собранным исходным данным о составе отходов медицинских учреждений Санкт-Петербурга ориентировочно определен ежегодный объем опасных отходов здравоохранения от всех медучреждений города – 4000 т в год, что составляло около 10% всех отходов медицинских учреждений города.

В ГИС содержится информация о 108 экологически опасных объектах.

Для определения экологического ущерба в результате наводнения была написана программа в среде Avenue ArcView 3.2. На рис. 13 показана схема расчета. На первом этапе для расчета задается продолжительность наводнения (час). Далее программа проверяет, будет ли остановлена при данном уровне воды центральная станция аэрации. Если ЦСА выходит из строя, то производится определение общей массы сбрасываемых загрязняющих веществ в Невскую губу путем умножения продолжительности наводнения на массу сбрасываемых веществ за один час. Затем программа проверяет количество предприятий, содержащих экологически опасные вещества, которое попадает в зону затопления. Когда список этих предприятий получен, определяется масса веществ, которая может поступить в окружающую среду.

На следующем этапе расчета массы веществ, попадающих из этих трех источников, суммируются, и вычисляется общий экологический ущерб.

Были проанализированы имеющиеся методики определения экологического ущерба, и в результате при выполнении расчета предотвращенного экологического ущерба была использована «Методика определения предотвращенного экологического ущерба», утвержденная Председателем Государственного ко-

митета Российской Федерации по охране окружающей среды 30 ноября 1999 г.

Расчетные формулы имеют следующий вид:

$$Y_{nprn}^B = \sum_J \left(Y_{yDrj}^B \times \sum_{k=1}^K M_{nk}^B \right) \times K_{Эр}^B,$$

где Y_{nprn}^B – предотвращенный экологический ущерб водным ресурсам в рассматриваемом r -м регионе, в результате осуществления n -го направления природоохранной деятельности по K -му объекту (предприятию) в течение отчетного периода времени, тыс. руб.;

Y_{yDrj}^B – показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам, наносимого единицей (условная тонна) приведенной массы загрязняющих веществ на конец отчетного периода для j -го водного объекта в рассматриваемом r -том регионе (для территориальных вод России бассейна Балтийского моря, включая акваторию Финского залива, показатель удельного ущерба – 9700,5 руб./усл. тонны; для бассейна р. Невы – 10054,2 руб./усл. тонны; для Санкт-Петербурга – 10543,0 руб./усл. тонны);

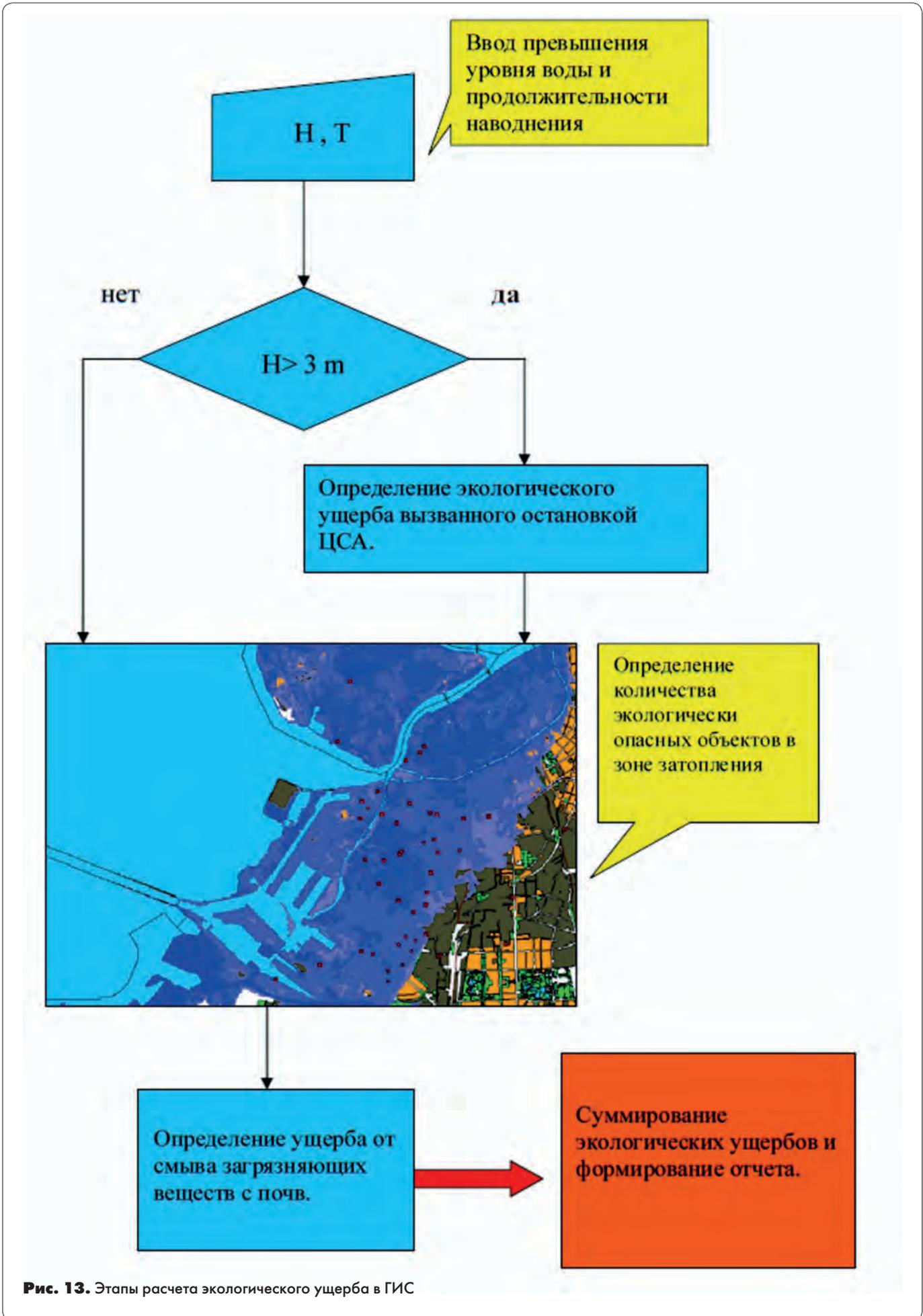
M_{nk}^B – приведенная масса загрязняющих веществ, не поступивших (не допущенных к сбросу) в j -й водный источник с k -го объекта в результате осуществления n -го направления природоохранной деятельности в r -м регионе в течение отчетного периода времени (тыс. усл. тонн);

$K_{Эр}^B$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек.

Приведенная масса загрязняющих веществ рассчитывается по формуле:

$$M_{nk}^B = \sum_{j=1}^n m_i^e \times K_{Эи}^e,$$

где $\sum_{j=1}^n m_i^e$ – фактическая масса снимаемого (не допущенного к попаданию в водный источник) i -го



загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной эколого-экономической опасности на k -м объекте в течение отчетного периода времени (тонны);

K_{zi}^e – коэффициент относительной эколого-экономической опасности для i -го загрязняющего вещества или группы веществ (из табл. 2.4).

В качестве основы для расчетов приведенной массы загрязнений используются утвержденные значения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воде водоемов рыбохозяйственного значения (как наиболее жесткие). С помощью ПДК определяются коэффициенты эколого-экономической опасности загрязняющих веществ (как величина обратная ПДК: $K_{zi}^e = 1/\text{ПДК}$).

С учетом огромного количества поступающих в водные объекты видов загрязняющих веществ для упрощения расчета коэффициентов относительной эколого-экономической опасности загрязнения группируются по классам опасности и признаку близких значений ПДК.

Введенные в ГИС данные о площадных загрязнениях территории города и данные о санкционированных и несанкционированных свалках позволяли рассчитать ущерб от загрязнения химическими и биологическими веществами при их смыве.

Таким образом, впервые в Санкт-Петербурге была проведена экономическая оценка экологического ущерба от наводнения. При использовании современных методик оценки экологического ущерба, интегрированных в ГИС, были проведены расчеты экономического ущерба при выходе из строя Центральной станции аэрации. С использованием геоинформационной системы был оценен экономический ущерб от затопления особо опасных объектов для заданных уровней подъема воды.

Комплекс защитных сооружений

С 1979 г. для предотвращения наводнений начато строительство сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений, которые представляют собой объект комплексного, многоцелевого назначения и выполняют ряд важных социально-экономических функций.

12 августа 2011 г. состоялось торжественное открытие Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений В.В. Путиным, который назвал КЗС «сооружением, достойным Санкт-Петербурга» (рис. 14).



Рис. 14. Торжественное открытие КЗС 12 августа 2011 г.

И уже через 4 месяца в ноябре и декабре 2011 г. было предотвращено три наводнения. Всего за три года эксплуатации КЗС предотвратил 8 наводнений, в том числе 6 наводнений с особо опасным подъемом уровня воды (рис. 15).

КЗС является уникальным гидротехническим сооружением протяженностью 25,4 км, рассчитанным на защиту от наводнений с вероятностью 0,1%, то есть 1 раз в 1000 лет, с высотой подъема уровня воды до отметки 4,55 м у створа КЗС, что по расчетам составляет 4,75 м по Балтийской системе высот у гидрологического поста Горный институт в Санкт-Петербурге.

В состав КЗС входят 2 судопропускных и 6 водопропускных сооружений (рис. 16), 11 каменно-земляных дамб, 7 мостов, тоннель под Морским каналом, 2 транспортные развязки на южном побережье Финского залива и о. Котлин.

Защитные сооружения позволяют практически ликвидировать все морские нагонные наводнения. Завершение строительства КЗС существенно отразилось на социальной и экономической жизни Санкт-Петербурга. В настоящее время обеспечена сохранность исторической части города. Наличие защитных сооружений с проложенной по ним кольцевой автомагистрали позволяет коренным образом изменить существующую систему коммуникаций, а также избавляет город ежедневно более чем от 36 тыс. ед. транзитного автотранспорта, что способствует оздоровлению его воздушной среды и уменьшению шумовой нагрузки.

С учетом возможного глобального изменения климата КЗС способен защитить город и от экстремального наводнения с вероятностью 0,01%, то есть такого, которое может произойти 1 раз в 10000 лет с высотой подъема уровня воды 5,15 м у створа КЗС и 5,40 м у гидрологического поста Горный институт в Санкт-Петербурге.

В отличие от других построенных в мире защитных сооружений КЗС может обеспечивать защиту от наводнений и в суровых зимних условиях (рис. 17).

В состав КЗС входят 7 мостов, подводный автомобильный тоннель (пролегающий под морским судоходным каналом на отметке –24 м) протяженностью около 2 км с 6-полосной скоростной автомобильной дорогой, 67 затворов, перекрывающих за 1 час и удерживающих напорный фронт протяженностью более 1,5 км при наводнениях, в том числе катастро-



Рис. 15. Судопропускное сооружение С1 во время наводнения 26–28 декабря 2011 г.



С-1



Батопорты С-1



С-2



С-2

Рис. 16. Судопропускные сооружения КЗС (Из архива ФКП «Дирекция КЗС СПб Минстроя России», С-2, фото Есина И.В.)



Рис. 17. Ледовые условия у КЗС (Из архива ФКП «Дирекция КЗС СПб Минстроя России»)

фических с расходом 100 тыс. м³/с (для сравнения расход р. Невы 2,5 тыс. м³ в 40 раз меньше).

Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений представляет собой объект комплексного, многоцелевого назначения и выполняет ряд важных социально-экономических и экологических функций. Завершение строительства КЗС позволило обеспечить защиту города от наводнений, создать участок кольцевой дороги вокруг Санкт-Петербурга и оздоровить воздушную среду города за счет вывода транзитного транспорта из центра города, обеспечить наземную транспортную связь г. Кронштадта с материком. Маневрирование затворами КЗС позволяет улучшить экологическое состояние водной среды в Невской губе и восточной части Финского залива посредством регулирования проточности воды через водопропускные сооружения.

Для научного обоснования решений, принимаемых в процессе эксплуатации КЗС, проводятся непрерывные натурные наблюдения за экологическим состоянием водной среды в Невской губе и восточной части Финского залива по специальной программе, согласованной с Невско-Ладожским бассейновым водным управлением Минприроды России.

Оценивая опыт проектирования и строительства КЗС, можно сделать вывод, что из многих масштабных проектов России это наиболее экологически обоснованный проект. На экологическое обоснование проекта было затрачено 20% от общей стоимости разработки проекта строительства КЗС. Проектирование и строительство КЗС явилось катализатором научных исследований в области экологии и управления водными ресурсами. В этот период был проведен большой объем научно-исследовательских работ

и натурных наблюдений водной системы Ладожское озеро – р. Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива с целью ее оздоровления.

В 1989–1990 гг. многочисленные комиссии оценивали влияние строительства КЗС на экологическую обстановку в Невской губе и восточной части Финского залива. Наиболее глубокая и объективная оценка экологического воздействия на окружающую среду строительства КЗС была проведена экспертной комиссией Ленинградского научного центра Российской Академии наук под руководством директора Института озераедения РАН, члена-корреспондента РАН, ныне академика Владислава Александровича Румянцева и Международной комиссией экспертов в 1990 г.

Всесторонний анализ экологического состояния Невской губы и восточной части Финского залива был проведен Международной комиссией экспертов, в составе которой работали высококвалифицированные специалисты 6 стран и группа ученых всемирно известного института «Делфт Хайдроликс». Результаты исследований на основании модельных расчетов с использованием базы гидроэкологических данных многолетних рядов наблюдений показали, что воздействие строительства КЗС на экологическое состояние водной среды составляет 0,6% по сравнению с другими факторами, влияющими на состояние водной среды. Комиссией был рекомендован интегрированный подход к управлению водными ресурсами (рис. 18).

Комплекс сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений как элемент управления водными ресурсами в Невской губе и восточной части Финского залива [9]

Одной из основных функций КЗС является возможность влияния маневрирования затворами водопропускных сооружений на экологическое состояние Невской губы и восточной части Финского залива. В настоящее время в период эксплуатации комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга необходимо создать систему интегрированного

управления водными ресурсами для гармоничного сочетания различных интересов водопользователей с учетом многофункционального использования Невской губы и КЗС [10].

После завершения строительства КЗС Невская губа практически превратилась в уникальную управляемую природно-техническую систему с широким спектром возможностей целенаправленно влиять на улучшение экологической ситуации.

Комплекс сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений является составной частью и важным элементом управления водными ресурсами Санкт-Петербургского региона в связи с уникальным местоположением города на побережье Балтийского моря в замыкающем звене крупнейшей в Европе водной системы Ладожское озеро – река Нева – Невская губа – Финский залив.

Комплекс защитных сооружений – сложная многофункциональная система. Кроме основной задачи – устранения угрозы наводнения, Комиссией Государственного комитета по науке и технике отмечалась возможность создания технологического режима управления проточностью Невской губы, ее санитарным состоянием. Мировой опыт по использованию защитных гидротехнических сооружений, например, возведенных в дельтах рек Рейна и Шельды в Нидерландах, показывает, что управление контролируемой системой сооружений может способствовать улучшению качества водной среды.

Для изучения возможности влияния на экологическое состояние акватории Невской губы путем маневрирования затворами КЗС был проведен крупномасштабный натурный эксперимент (рис. 19), в программу которого входили следующие работы:

- гидрометеорологические и гидрологические наблюдения;
- анализ качества воды по многим гидрохимическим и бактериологическим показателям;
- гидробиологические и ихтиологические исследования;
- аэрокосмические наблюдения за распределением взвешенных веществ;



Рис. 18. Схема интегрированного управления водными ресурсами

– наблюдения за распределением загрязняющих веществ от городских очистных станций с помощью трассеров;

– исследование химического и бактериологического состава донных отложений.

Были задействованы все возможные технические средства мониторинга: аэрофотосъемка, замеры гидрофизических характеристик инструментальными методами по ходу судна, стационарные самописцы расходов воды и скоростей течений, современные методы анализа воды и способов оценки ее качества. В эксперименте приняли участие 16 институтов и организаций, в том числе: Управление «Ленморзащита», Ленкомэкология, АО «Водоканал», Севзапгидромет, Городской центр Государственного санитарно-эпидемиологического надзора и др.

Были проведены 4 экспедиции (рис. 20) с интервалом в 7 дней:

– первая – в условиях полной проточности северного створа КЗС (для установления фоновых характеристик);

– вторая – при закрытых 22 затворах водопропускных отверстий В-5 и В-6;

– третья – при закрытии всех 42 затворов водопропускных отверстий В-3, В-4, В-5 и В-6;

– четвертая и последняя экспедиция – через неделю после открытия всех водопропусков.

Анализ возможности влияния маневрирования затворами водопропускных сооружений комплекса защиты Санкт-Петербурга от наводнений на улучшение экологической ситуации в Невской губе

Программа измерений физико-химических параметров воды и отбора проб в основном повторялись на каждом этапе. На рис. 21 представлена схема расположения станций наблюдений, на которых отбирались пробы для анализа в стационарных и мобильных лабораториях.

На каждой станции пробы отбирались с нескольких горизонтов в зависимости от морфометрических особенностей местоположения станции. Всего были рассмотрены результаты анализов 266 проб воды и 64 пробы донных отложений, отобранных на разных этапах эксперимента в 46 и 27 точках соответственно.

Санитарное состояние

Санитарное состояние водоемов принято оценивать по совокупности санитарно-гигиенических, хи-

мических и бактериологических показателей качества воды и грунтов. В исследованиях санитарного состояния Невской губы и восточной части Финского залива участвовали: Кронштадтская ГМС, Севзапгидромет, Гидропроект, ГЦГСН Санкт-Петербурга, ГИДУВ, СПБИСИ, ВСЕГЕИ, ЛО СП «Автокомп».

Результаты расчетов индекса загрязнения показали, что изменения степени загрязнения воды по содержанию в ней вредных химических веществ характеризовались следующими тенденциями.

– В условиях открытых водопропусков (14–16.10.92) степень загрязнения Невской губы до створа КЗС и восточной части Финского залива со створом КЗС характеризуется как умеренная. В Невской губе высокая степень загрязнения отмечалась на 2 станциях, а в восточной части Финского залива – на 3 станциях.

– При закрытии 22 затворов В-6 и В-5 и затем при полном перекрытии 44 затворов всех водопропускных отверстий в Невской губе наблюдалась тенденция к снижению степени загрязнения, а в восточной части Финского залива, расположенной за северным створом КЗС, – к повышению степени загрязнения.

– В районе Невской губы, расположенном южнее Морского канала, и в восточной части Финского залива за южным створом КЗС также прослеживалась тенденция к снижению степени загрязнения воды при перекрытии затворов северного створа КЗС. Следовательно, перекрытие затворов снизило содержание вредных химических веществ в воде огражденной акватории и в южных воротах Невской губы, куда был направлен транзитный поток Невы, но ухудшило санитарную обстановку в восточной части Финского залива.

– После открытия затворов 06.11.92 степень загрязнения воды во всех 4 перечисленных районах стала приближаться к фоновому состоянию в начале эксперимента.

– Сопоставление колебаний содержания растворенного кислорода и концентраций тяжелых металлов (кадмия и свинца) с диапазоном колебаний этих ингредиентов за последние пять лет показало, что снижение концентрации кислорода и повышение концентраций тяжелых металлов в Финском заливе за створом КЗС после перекрытия водопропускных отверстий выходило за пределы минимальных и максимальных значений этих показателей, наблюдаемых за последние пять лет. Это свидетельствует о том, что влияние маневрирования на перераспределение в воде содержания химических вредных ве-

	закрыто	открыто		
DATA	В-3	В-4	В-5	В-6
14-16.10.92	открыто	открыто	открыто	открыто
21-22.10.92	открыто	открыто	закрыто	закрыто
28-30.10.92	закрыто	закрыто	закрыто	закрыто
05-06.11.92	открыто	открыто	открыто	открыто

Рис. 19. Регламент проведения натурного эксперимента в акватории Невской губы и восточной части Финского залива с использованием маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС

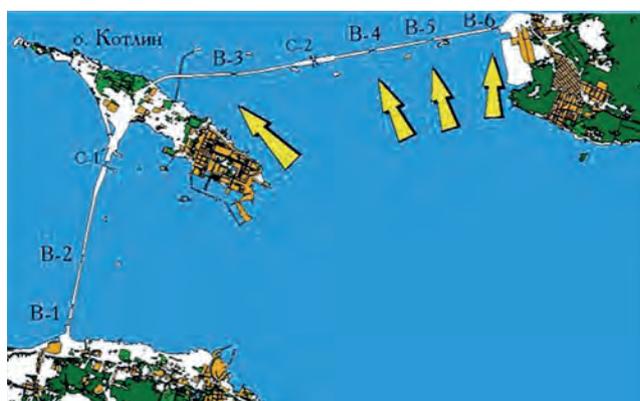


Рис. 20. Схема сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений, используемых в период проведения эксперимента (В-3, В-4, В-5 и В-6)



Рис. 21. Схема расположения станций наблюдений в акватории Невской губы в период эксперимента

шеств превалировало над влиянием естественных факторов.

Бактериальное загрязнение оценивалось также индексом загрязнения в соответствии с СанПиН 2630-88 и СанПиН 4631-88 (раздел 7, табл. 7.4). Индекс загрязнения определялся по данным о содержании лактозо-положительной кишечной палочки (ЛПКП) в 1 л воды. Оценка степени бактериального загрязнения показала:

- в период фоновой съемки (при открытых затворах в Невской губе и восточной части Финского залива) 42% обследованных станций характеризовались высокой степенью бактериального загрязнения воды;

- после перекрытия затворов северного створа в Невской губе на 79% наблюдаемых станций отмечалась высокая и чрезвычайно высокая степень бактериального загрязнения, а в восточной части Финского залива соответственно на 71% станций, то есть наблюдалась тенденция нарастания загрязнения в Невской губе и в меньшей степени – в Финском заливе.

После открытия ворот в пробах, отобранных 05–06.11.92, высокая и чрезвычайно высокая степень загрязнения была отмечена в 82% случаев в Невской губе, в Финском заливе – 62% случаев. Это несомненно связано с гидрометеорологической ситуацией – шторм, сильные перемешивания воды, особенно в Невской губе, вероятно, вызвали вторичное бактериальное загрязнение воды от донных отложений.

Влияние маневрирования проявилось в том, что было зарегистрировано некоторое увеличение уровня бактериального загрязнения вдоль створа защитных сооружений после его перекрытия и снижение его на пляжах «Тарховский» и «Дубки» за створом сооружений. На пляжах Зеленогорска и Сестрорецка изменения бактериологических показателей в связи с маневрированием практически не наблюдались. Это свидетельствует о том, что бактериальное загрязнение, поступающее от очистных сооружений Санкт-Петербурга, не достигает этих пляжей.

Процессы бактериального самоочищения, тем не менее, протекали в Невской губе достаточно интен-

сивно. Поэтому смещение загрязненных потоков к южному створу защитных сооружений не привело к значительным изменениям содержания бактерий в воде проб, отобранных в южных воротах.

Исследования состава донных отложений выполнялись в Санкт-Петербургском инженерно-строительном институте (СПБИСИ), Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте (ВСЕГЕИ) и Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ). Основные выводы по результатам исследований можно сформулировать следующим образом.

- Неблагоприятные погодные условия, а также некоторые недостатки методики работ не позволяют установить четкую зависимость изменений в поверхностных донных отложениях от положения затворов водопропускных отверстий. Наблюдался лишь четко выраженный рост содержания в грунтах тяжелых металлов в период последней съемки, когда водопропуски были вновь открыты, что логичнее всего объяснить гидрометеорологическими условиями во время шторма.

- В период маневрирования затворами в Невской губе происходило перераспределение донных отложений и изменение скорости седиментации взвешенных веществ в районе створа защитных сооружений: после закрытия водопропусков донные отложения в северных воротах, перед створом КЗС, имели большее содержание органики по сравнению с фоновой съемкой. Содержание органики в донных отложениях южных ворот также возросло.

- В связи с отсутствием нормативов для оценки санитарного состояния донных отложений содержание тяжелых металлов в них было сопоставлено с нормами Комитета по дамплингу при Совете лондонской конвенции.

Оценка экологического состояния наблюдаемой акватории была выполнена на основании данных гидробиологических (Севзапгидромет, Государственный гидрологический институт – ГГИ), токсикологических (ГОСНИИ биомониторинга и токсикологии) и ихтиологических исследований (Государственный

научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства – ГОСНИОРХ, НПП «Исса РУ-ИНО»). Составление экологического равновесия оценивалось по интегральному критерию, разработанному в СПБИСИ, с помощью базы гидроэкологических данных управления «Морзащита».

Для исследования влияния маневрирования затворами водопропускных сооружений на гидробиологический режим были выбраны следующие показатели: seston, взвешенное органическое вещество, фитопланктон, планктонные инфузории. В донных отложениях определялось содержание сапрофитной микрофлоры и зообентоса.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

– Открытые водопропускные отверстия КЗС не препятствуют транзиту вод: в начале и конце эксперимента, при открытых затворах, распределение и концентрации исследуемых показателей совпадали с многолетними данными соответствующего периода.

– Наиболее заметные изменения в распределении sestona, взвешенного органического вещества, хлорофилла «а», фитопланктона и планктонных инфузорий обнаружены при полном перекрытии затворов: в северных воротах, перед КЗС, со стороны Невской губы наблюдалось увеличение концентрации хлорофилла «а» на участке Д10–К4, здесь же обнаружено накопление обычного для этого периода доминанта фитопланктона *Tribonema affine*, наблюдалось значительное увеличение численности планктонных инфузорий. Отмечено также и различие их видового состава до и после КЗС на участке Д10–Д7.

– В районе южнее ворот и на станции 15 отмечены повышенные концентрации планктонных инфузорий – перитрих, являющихся индикаторами органического загрязнения, которое в условиях эксперимента, вероятно, связано с перераспределением направления потока сточных вод.

– Влияние маневрирования на биоценозы донных отложений малозаметно. Отмечено лишь увеличение сапрофитных бактерий на станциях 42, Д2 и Д10. Обеднение бентоса перед створом КЗС в Невской губе (станции Д7, Д9) только предположительно можно связывать с изменением гидрологического режима.

– Биотестирование в Невской губе и восточной части Финского залива выявило обычное сезонное ухудшение качества воды и грунта. Влияние маневрирования затворами КЗС на токсичность воды и грунтов сказывается незначительно.

Разработка мероприятий по снижению воздействий аварийных разливов загрязняющих веществ с использованием маневрирования затворами водопропускных сооружений Комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений

Результаты эксперимента подтвердили принципиальную возможность целенаправленно влиять на гидрологический режим и изменение экологической ситуации акватории Невской губы и восточной части Финского залива путем маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС.

Целесообразно продолжить экспериментальные натурные исследования в различные гидрологиче-

ские периоды. Особое внимание следует уделить изучению возможности влияния маневрирования затворами водопропускных сооружений на улучшение экологической ситуации в местах рекреации в летний период, особенно в штилевых условиях и при высоких среднемесячных температурах воды и воздуха.

Регламент маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС в первую очередь должен включать комплекс мероприятий по снижению воздействия от аварийных разливов загрязняющих веществ в реке Неве и Невской губе. В этом случае должен быть задействован ряд организаций, отвечающих за чрезвычайные ситуации, экологическую безопасность и охрану окружающей среды.

Специальные мероприятия должны быть подготовлены на стадии эксплуатации КЗС с использованием технологического режима управления экологической ситуацией в период угрозы наводнений. В проектом режиме необходимо решить задачу исключения возможности попадания стоков с очистных сооружений в водозабор Кронштадта и рекреационные зоны.

Проведенный анализ распределения тяжелых металлов в Невской губе и восточной части Финского залива позволил выделить в воде две группы металлов: первая группа – свинец, кадмий, медь, цинк, имеющие общий источник загрязнения, расположенный, вероятно, с внешней стороны КЗС, и вторая группа – марганец и железо, свойственные естественному содержанию этих ингредиентов в водах Невской губы.

Для подтверждения полученных закономерностей и выявления источника загрязнения тяжелых металлов необходимо проведение измерений как с внутренней, так и с внешней стороны КЗС в удаленных от КЗС точках.

На основе предлагаемых исследований необходимо создать автоматизированную сеть наблюдений за основными экологическими параметрами водной среды до завершения строительства КЗС, которая позволит своевременно в короткий временной период оптимально использовать разработанный регламент маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС.

Необходима организационная основа для оптимального использования регламента маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС, в частности, создание координирующего органа, отвечающего за четкое взаимодействие организаций, заинтересованных в разработке и реализации регламента управления водными потоками в Невской губе.

При маневрировании затворами многие характеристики воды, донных отложений, санитарно-гигиенические параметры обнаруживают отчетливые изменения в зоне, примыкающей к КЗС на удалении до 1–3 км. Общее влияние маневрирования затворами прослеживается на акватории от створа г. Петродворец – остров Верперлуда до створа Комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Появился опыт проведения таких комплексных работ и аргументация по методике их выполнения. В процессе исследования в ряде случаев целенаправленно были выполнены параллельные проботборы и лабораторные работы, что позволило оценить метрологические характеристики различных лабораторий и методов, в частности, можно утверждать, как видно

из отчетов ГорЦСЭН, СЗ Гидромета, НИЦ «Акватория», что систематическое расхождение в анализе гидрохимических проб отсутствуют.

По результатам проведенного широкомасштабного эксперимента можно сделать следующие выводы.

– Маневрирование затворами КЗС позволяет управлять стоковым течением в Невской губе и наиболее эффективно – при сгонно-нагонных ситуациях.

– Скоростное поле течений при маневрировании затворами однородно во всей водной толще, за исключением придонного слоя, где развивается при сгонных ситуациях обратное (в Невскую губу) течение.

– При открытых затворах в Невскую губу поступают более соленые воды Финского залива, с помощью закрытых В-5 и В-6 они отжимаются к западу.

– Наиболее отчетливые эффекты наблюдаются в гидрологических данных (изменения уровня и режима течений) на расстоянии 1–2 км от КЗС, в гидрофизических и гидрохимических данных (поле скоростей, содержание взвеси, органическое загрязнение, БПК₅, содержание меди, хлорофилла, марганца) – зона влияния до 5–6 км, поля взвеси в данных авианаблюдений – на большей части акватории.

– Остальные данные малоинформативны даже в створах КЗС.

– Санитарно-бактериологическая обстановка при закрытых затворах улучшается в Невской губе и на незначительном расстоянии от КЗС в восточной части Финского залива.

– Экологический мониторинг Невской губы целесообразно вести комплексом методов: авианаблюдения и космические снимки, патрулирование подвижным модулем, изучение донных осадков (белок, бактериальная биомасса, микробиология, гранулометрия, тяжелые металлы в форме металлорганики – Hg, Co, Ca), гидробиология.

– Исследования показали наличие принципиальной возможности влияния маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС на гидрологический режим, санитарное и экологическое состояние в пределах акватории.

Для управления природно-технической системой в Невской губе с использованием комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений необходимо разработать автоматизированную сеть станций наблюдений и регламент маневрирования затворами водопропускных сооружений КЗС.

Экологические последствия создания Комплекса защитных сооружений

Многие годы Дирекция Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга принимает все необходимые меры для защиты и оздоровления акватории Финского залива. Внести свой вклад в защиту Балтийского моря от загрязнений КЗС позволяет предотвращение наводнений в Санкт-Петербурге, которые причиняли значительный экологический ущерб, а также наличие очистных сооружений, обеспечивающих автоматическую очистку ста процентов объема ливневых сточных вод, поступающих от кольцевой автомобильной дороги, проходящей по КЗС, осуществление совместно с ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» постоянного мониторинга экологической обстановки в акватории Невской губы.

Невская губа и сопредельные акватории не потеряли в современных условиях своего значения как рыбохозяйственный водоем первой категории.

Защитные сооружения с системой водопропускных, судопропускных и технологических отверстий не являются непреодолимыми препятствиями для мигрирующих в обоих направлениях рыб.

Маневрирование затворами северного створа КЗС не создало полной изоляции сопредельных акваторий. В ходе эксперимента не была нарушена естественная сезонная динамика структурных показателей рыбного населения в акваториях Невской губы и восточной части Финского залива.

Большая часть дисперсии этой динамики объясняется сезонным ходом гидрометеорологических процессов.

Фактически КЗС оказывает позитивное влияние на формирование новых мест обитания для фауны на мелководных участках, заросших высшей водной растительностью, ценных как места воспроизводства рыбных ресурсов и места отдыха для перелетных водоплавающих и околоводных птиц (рис. 22).

Специалисты отмечают, что одним из наиболее важных положительных последствий строительства КЗС стало увеличение площади мелководий вокруг него, что в значительной степени восстановило утраченные при дноуглубительных работах ценные в природоохранном отношении водно-болотные угодья. Развившиеся на мелководьях высокопродуктивные растительные сообщества сделали их чрезвычайно благоприятными для кормёжки и обитания большого числа видов водоплавающих и околоводных птиц. В результате мелководья у северного и западного берегов острова Котлин приобрели огромное значение как места массовых миграционных стоянок и гнездования птиц этих экологических групп, в том числе и редких видов [11]. Наибольший интерес в настоящее время представляет роль самого КЗС в качестве места гнездования птиц, особенно редких видов, включенных в Красные книги разного ранга [12]: полярная и малая крачка, галстучник.

Расположение колоний на дамбе исключительно благоприятно для чаек и крачек, поскольку места кормёжки этих видов располагаются в непосредственной близости от гнёзд – в прилегающей акватории.

Ярусная структура дамбы с разным строительным материалом создает идеальные условия для разграничения поселений озёрных чаек и других видов, что существенно увеличивает успешность размножения последних, поскольку в противном случае их птенцы часто становятся жертвами агрессии, когда оказываются вблизи гнёзд чаек.

Кроме того, ярусное устройство дамбы создает условия для наблюдения за птицами без причинения им беспокойства с верхнего придорожного яруса, на значительном удалении от северных и южных границ колоний. Эту особенность можно использовать для проведения организованных экскурсий с целями экологического просвещения. В условиях мегаполиса, где возможность размножения на естественных песчано-галечных пляжах практически исключена в силу заповедных рекреационных нагрузок, дамбы КЗС могли бы стать резерватом гнездования не только широко распространенных птиц, но и редких стенотопных видов. При условии запрета посещения



Лебеди на территории КЭС



Полярная крачка *Sterna paradisaea* у гнезда на участке второго яруса дамбы, засыпанного крупным гранитным щебнем. 15 июня 2012 г.



Гнездо полярной крачки *Sterna paradisaea* на небольшом открытом пятне среди крупнощебнистой засыпки дамбы. 15 июня 2012 г.



Мородунка *Xenus cinereus* у гнезда. 10 июня 2012 г.



Галстучник *Charadrius hiaticula* у гнезда на замшелом зарастающем песчано-мелкощебнистом участке дамбы. 10 июня 2012 г.



Травник *Tringa totanus* у выводка и малая крачка *Sterna albifrons* на кладке. 15 июня 2012 г.

Рис. 22. Птицы редких и исчезающих видов на территории КЭС.
Фото Н.П. Иовченко



Самка тюленя с бельком на акватории, прилегающей к КЗС



Детеныш тюленя на территории КЗС

Рис. 23. Тюлени на КЗС

колоний птицы и люди способны благополучно существовать по разным сторонам дамбы, разделенные только Кронштадтским шоссе, даже при наличии высокого уровня рекреации на ее внутренней стороне.

В марте 2014 г. Дирекция КЗС СПб присоединилось к программе реабилитации редких для города и области представителей фауны – балтийской кольчатой нерпы и серого тюленя (рис. 23).

В Санкт-Петербурге работа по спасению редких видов морских животных проводится с 2007 г. некоммерческим партнерством «Центр реабилитации морских млекопитающих Ленинградской области», а с 2013 г. поддержку специалистам оказывает ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». В прошлом году был открыт Пункт реабилитации для детенышей ластоногих на территории очистных сооружений Водоканала в п. Репино.

Весной, в период размножения морских млекопитающих, в неблагоприятных климатических условиях особенно беззащитны детеныши нерпы и тюленя. В аномально теплые зимы ситуация обостряется почти полным отсутствием льда и увеличением штормовой активности. В таких условиях самки теряют детенышей, которые не могут самостоятельно прокормиться. Специалисты Центра оказывают необходимую помощь найденным ластоногим животным.

Дирекция КЗС СПб по возможности обеспечивает содействие в спасении детенышей ластоногих, дрейфующих в акватории Финского залива непосредственно в акватории у Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений.

Заключение

В настоящее время КЗС является важнейшим элементом интегрированной системы управления водными ресурсами в связи с реализованной возможностью управлять как количеством водных ресурсов (в период наводнений), так и качеством водной среды с применением механизма маневрирования затворами КЗС.

Таким образом, важнейшими социальными, экономическими и экологическими составляющими эффективности использования Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений являются:

- предотвращение социальных, экономических и экологических ущербов от наводнений и сохранение культурного наследия Санкт-Петербурга;
- возможность позитивного воздействия на состояние водной среды акватории Невской губы и восточной части Финского залива посредством маневрирования затворами водопропускных сооружений;
- снижение интенсивности негативного воздействия транспортных потоков на здоровье жителей Санкт-Петербурга в результате ввода морского участка КАД, позволяющего соединить северный и южный берега Невской губы, замкнуть Кольцевую автомобильную дорогу и вывести за пределы исторического центра и жилой застройки города более 36000 автомобилей в сутки;
- повышение безопасности судоходства вследствие расширения и углубления морского канала и сокращения в два раза количества поворотов судов при прохождении через новые фарватеры, оснащенные современными средствами навигационного обеспечения, что способствует снижению степени риска аварийных ситуаций (в том числе разливов нефтепродуктов) в акватории Балтийского моря;
- оптимизация экологического мониторинга с целью охраны водной среды Балтийского моря;
- формирование в створе КЗС искусственных отмелей, благоприятных для воспроизводства рыбных ресурсов и использования их как мест отдыха для 120 видов перелетных водных и околоводных птиц на пути их миграции из Скандинавии в южные страны Европы, в том числе птиц, включенных в Красные книги России и Ленинградской области;
- сохранение биоразнообразия в акватории, прилегающей к КЗС, создание условий обитания для ластоногих и других видов фауны;
- формирование новых рекреационных и туристических зон Санкт-Петербурга;
- создание в Санкт-Петербурге важнейших элементов интегрированного управления водными ресурсами.

Примечания и литература

1. *Рождественский А.В., Лобанова А.Г.* (ред.) Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л., 1984. – 448 с.
2. Отчет НИР «Автоматизированная система прогноза наводнений на базе численной модели Балтийского моря BSM5». – СПб. : ЦГМС-Р, 2006. – 137 с.
3. Технический проект «Защита Ленинграда от наводнений». Том 1. Природные условия. Книга 1. Гидрометеорологические условия. Инв. № 1296. – 3 т. – Л. : ЛО Гидропроект, 1977. – 301 с.;
4. *Penning-Rowse E., Fordham M.* (Eds.). Floods across Europe: Hazard assessment and management. – Middlesex University Press, London, 1994. – 214 p.
5. Защита Ленинграда от наводнений. Технический проект. Приложение. Методика определения ущерба от нагонных наводнений. 1296-8п. Л. : Ленгидропроект, 1977;
6. Защита Ленинграда от наводнений. Ленгидропроект. Технический проект. Том 2. Книга 2. Ущерб от наводнений. 1296-8п.1312-10-6т. Л. : Ленгидропроект, 1977.
7. Технический проект «Защита Ленинграда от наводнений». Том 1. Природные условия. Книга 1. Гидрометеорологические условия. Инв. № 1296. – 3 т. – Л. : ЛО Гидропроект, 1977. – 301 с.
8. Отчет «Технико-экономическое обоснование строительства комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений». – СПб., 1996.
9. *Gerritsen H., Mikhailenko R.R.* A Flood Warning Assessment Geographical Information System for St. Petersburg // Integrated water management for St. Petersburg region – project 3, Flood Warning and Assessment GIS joint Russian-Netherlands project, Phase 1, Intermediate Report sub-project 1, St. Petersburg, September 1999, Z2542. PSO98/RF/3/10. – St. Petersburg, 1999. – 76 p.;
10. *Mikhailenko R.R., Gerritsen H.* Functionality of the GIS for Flood Early Warning and Flood Damage Assessment in St. Petersburg // Integrated water management in St. Petersburg region – 3, A GIS for Flood Early Warning and Damage Assessment for St. Petersburg joint Russian-Dutch Project, sub-project 1, Phase 2, St. Petersburg, October 2000, Z2542. PSO98/RF/3/10. – St. Petersburg, 2000. – 29 p.
11. Изложено по данным, представленным в документах:
 Заключительный отчет по НИР. Часть 1. «Влияние устойчивого одновременного повышения уровня воды Балтийского моря в 1981–1990 гг. на гидрологический и гидрохимический режимы». – Л. : ЛО Ленгидропроект, 1991. – 47 с.;
12. Отчет НИР «Исследование по натурным данным влияния защитных сооружений на уровень, гидрохимический и температурный режимы и режим течений в районе створа защитных сооружений и на отсекаемой акватории Невской губы». Часть 2. «Исследование по натурным данным влияния защитных сооружений на уровень режим Невской губы». – Л. : ЛО Гидропроект, 1991. – 39 с.;
13. Отчет НИР «Исследование влияния защитных сооружений в период наводнений на срезку уровня в устье р. Невы и переформированные русла у временных мостовых переходов и в проране Д-3. Подготовка предложений по маневрированию затворами ВЗ–В6 для усиления проточности вдоль защитных дамб (договор № 2941). – СПб. : Ленгидропроект, ИЦ ВНИИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1992. – 53 с.;
14. Отчет НИР «Сравнительный анализ многолетних рядов уровней наблюдений по постам Кронштадт и Шепелево». – СПб. : ГУ ЛЦГМС, 2003. – 38 с.;
15. Натурные исследования влияния маневрирования затворами водопропускных отверстий комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений на гидрологический режим, санитарное и экологическое состояние Невской губы и восточной части Финского залива: отчет о НИР (1 этап) / Управление по строительству сооружений защиты от наводнений «ЛЕНМОРЗАЩИТА». Науч. рук.: *Л.И. Цветкова, В.М. Питулько, Р.Р. Михайленко*. – СПб., 1993.
16. *Гуральник Д.Л., Кассацьер К.Е., Михайленко Р.Р.* Анализ распределения загрязнений Невской губы тяжелыми металлами // Журн. экол. хим. – 1994. – № 3. – С. 185–192;
17. *Mikhailenko R., Usanov L., Tsvetkova V., Pitulko P.* The Experience of Ecological Condition Regulation in the Neva Bay and the Eastern Part of Gulf of Finland by Manoeuvring Flood Defending Complex Water-Gates // 1st International Conference 20–24 September 1993 “Environmental Protection Strategy Standardization and Control of Pollution Load on the Marine Environment”. – Tallinn, 1993. – P. 111–118.
18. *Иовченко Н.П.* Система ООПТ Санкт-Петербурга и её роль в сохранении редких видов птиц в условиях интенсивно развивающегося мегаполиса // Рус. орнитол. журн. – 2008. – Т. 17. – С. 1657–1670.
19. *Иовченко Н.П.* Редкие виды водоплавающих и околоводных птиц в Невской губе Финского залива // Изучение миграций птиц и миграционных стоянок. – СПб., 2008. – С. 61–63.
20. *Iovchenko N.P.* The Red Data Book of St. Petersburg as a Tool for Rare Bird Conservation under Conditions of the Intensively Developing Megalopolis // Abstr. 3rd Europ. Congr. Conserv. Biol., Glasgow, 2012. <http://eccb2012.org>.
21. *Рымкевич Т.А., Рычкова А.Л., Антипин М.А., Коткин А.С.* Весенние миграционные стоянки птиц в Невской губе // Изучение динамики популяций мигрирующих птиц и тенденций их

изменений на Северо-Западе России. Т. 6. – СПб., 2009. – С. 6–26.

12. Красная книга природы Ленинградской области: Животные. – СПб., 2002. – С. 1–480;

Красная книга природы Санкт-Петербурга. – СПб., 2004. – С. 1–416;

Красная книга Российской Федерации (животные). – М., 2001. – С. 1–864;

Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга «Об утверждении Перечня объектов животного и растительного мира, занесённых в Красную книгу Санкт-Петербурга». 20.12.2011. № 171 р.

