

УДК 528.94+551.482

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ 2010 ГОДА В УКРАИНЕ

*Ищук А.А.<sup>1</sup>, Железняк М.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Центра «ГИС Аналитик», Украина, Киев*

<sup>2</sup>*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины*

*E-mail: <sup>1</sup>o\_ischuk@giscenter.net,*

В статье приведены результаты взаимодействия министерств, ведомств, научных и аналитических центров Украины при решении проблемы прогнозирования и оценки возможных последствий весеннего половодья 2010 года. При решении данной проблемы применены методы пространственного моделирования зон затопления средствами ГИС, интеграции ГИС с внешним комплексом гидродинамического моделирования, а также инструменты пространственного анализа ГИС для определения пострадавших объектов.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы, гидродинамическое моделирование, чрезвычайные ситуации

В последние годы мы сталкиваемся с возросшей активностью природных явлений, вызывающих чрезвычайные ситуации. Проходящие в различных регионах мира катастрофические землетрясения, цунами, извержения вулканов, пандемии стали привычной темой газетных полос и телерепортажей.

Экстремальные снегопады парализовали на значительное время дороги Соединенных Штатов и Европы этой зимой. Не удивительно, что от весеннего половодья 2010 года в Украине также не ожидалось ничего хорошего. Учитывая политическую ситуацию, при которой некоторые государственные и политические деятели пытаются доказать свою значимость путем героического преодоления несуществующих или сильно преувеличенных угроз природных и техногенных катаклизмов, получение достоверного прогноза развития ситуации становится делом государственной важности.

Именно поэтому 25 февраля 2010 года распоряжением Секретаря Совета национальной безопасности Украины была создана межведомственная рабочая группа по вопросам минимизации возможных негативных последствий ледохода, половодья и паводков 2010 года. Цель создания группы - регулярное обеспечение государственных служб, принимающих решение по данному типу ситуаций, актуальной и реалистичной прогнозной информацией о возможных масштабах и последствиях надвигающихся опасных гидрологических ситуаций на Украине.

Перед группой, в состав которой вошли специалисты Института проблем математических систем и машин НАН Украины (ИПММС НАНУ) и «Центра ГИС Аналитик» при участии специалистов Украинского гидрометеорологического центра МЧС Украины (УкрГМЦ МЧС) и Госводхоза Украины, встали следующие задачи:

1. По данным официального прогноза УкрГМЦ МЧС в кратчайшие сроки оценить масштабы возможных последствий затопления на опасных с точки зрения возникновения половодья участках рек Украины и определить перечень потенциально-опасных объектов, которые могут попасть в зоны бедствия.

2. Средствами подсистемы моделирования и прогнозирования (ПМП) ПИАС ЧС провести расчет зон затопления в бассейнах рек Стрый, Днестр и Десна, модели которых включены в состав данной подсистемы, а также получить перечень важных народнохозяйственных объектов, которые могут пострадать в результате развития чрезвычайной ситуации этого типа.

3. Оперативно разработать на платформе ГИС пространственную модель территории поймы р. Припять в пределах Чернобыльской зоны отчуждения с учетом современного состояния водоохранных сооружений с целью прогнозирования возможных радиологических последствий развития половодья в регионе.

4. Оперативно создать на платформе ГИС пространственную модель поймы р. Днепр в пределах г. Киева и его окрестностей с целью моделирования зон затопления по данным УкрГМЦ МЧС и получения перечня участков жилой, промышленной и дачной застройки, которые могут оказаться затопленными.

5. Создать и интегрировать с ГИС балансовую математическую модель участка Днепровского каскада между Киевским и Каневским водохранилищами с целью детального моделирования ситуации, связанной с развитием весеннего половодья и других опасных гидрологических явлений в пойме р. Днепр на территории г. Киева и его ближайших окрестностей.

6. Передача в доступной и наглядной форме результатов прогнозирования заинтересованным ведомствам для разработки и последующей оценки эффективности мероприятий по минимизации возможных негативных последствий ледохода, половодья и паводков 2010 года.

#### **ОЦЕНКА МАСШТАБОВ И ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАТОПЛЕНИЯ НА РЕКАХ УКРАИНЫ, ОПАСНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЛОВОДЬЯ**

После получения официального прогноза УкрГМЦ МЧС и запроса от МЧС Украины, в котором содержался перечень опасных с точки зрения возникновения последствий весеннего половодья рек, «Центром ГИС Аналитик» при содействии специалистов управления прогнозирования МЧС Украины и Совета национальной безопасности Украины была проведена следующая работа:

- средствами подсистемы моделирования и прогнозирования ПИАС ЧС для речных бассейнов, модели которых были к этому моменту включены в ПИАС ЧС (р.р. Днестр, Стрый, Десна, Тиса и ее притоки) получены зоны максимально возможных (1% обеспеченности) затоплений;

- по участкам рек, попадающих в зону потенциальной угрозы затопления, но не включенных пока в подсистему прогнозирования и моделирования ПИАС ЧС, построены зоны наиболее вероятного воздействия половодья заданной ширины с учетом порядка реки и особенностей рельефа;

- средствами пространственного анализа ГИС с использованием БД потенциально-опасных объектов, входящей в состав ПИАС ЧС, составлен список

объектов, которые могли бы пострадать в случае наихудшего варианта развития половодья;

- по результатам проведенного пространственного ГИС-анализа составлены тематические сводные карты, отображающие общую картину возможных последствий весеннего половодья 2010 года на Украине (Рис. 1).

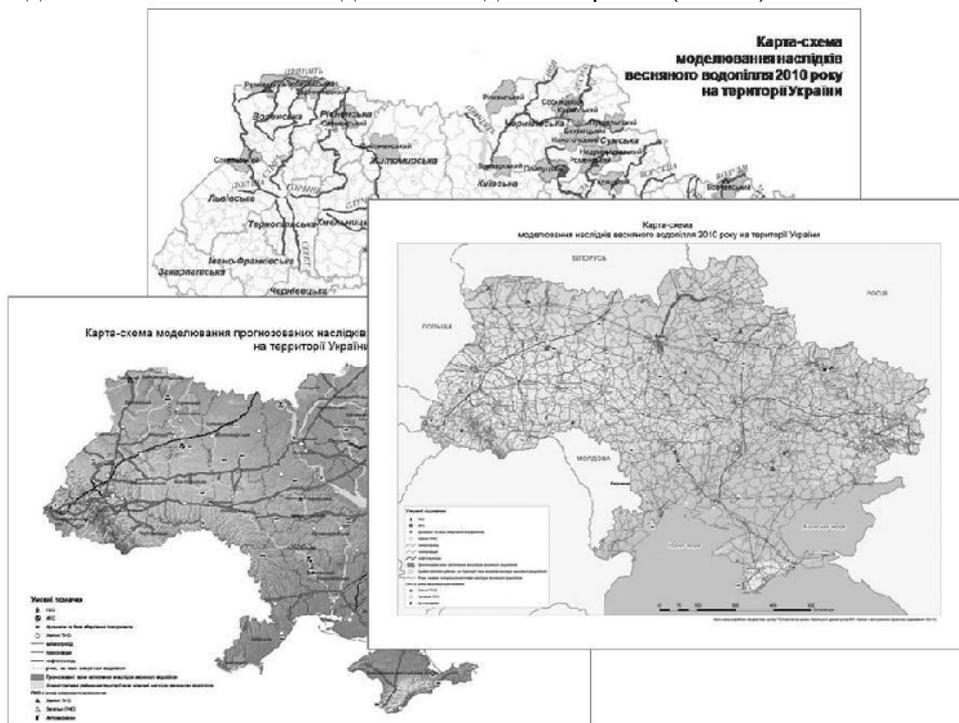


Рис. 1. Тематические сводные карты, составленные по заказу СНБО и МЧС Украины, на которых отображена общая картина возможных последствий весеннего половодья 2010 года на Украине.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ УКРАИНЫ СРЕДСТВАМИ ПИАС ЧС

Комплекс моделирующих систем, объединенный в подсистему моделирования и прогнозирования возможных последствий чрезвычайных ситуаций (ПМП ЧС), создан и развивается как составная часть распределенной информационной структуры ПИАС ЧС, которая интегрирует информационные потоки таких правительственных и государственных учреждений, как Украинский Гидрометцентр, территориальные и центральные подразделения МЧС Украины и т.д.

Таким образом, создана единая информационная среда, способная обеспечить необходимый уровень как снабжения исходными данными для моделирования, так и подготовки информации для системы принятия решений.

Системное обеспечение комплекса базируется на платформе новой линейки программных продуктов ESRI – ArcGIS 9.3, что позволяет соединить новые

возможности модулей пространственного моделирования Spatial и 3D Analyst с мощными ведомственными проблемно-ориентированными моделирующими системами, опираясь на распределенную информационную базу пространственных данных, организованную посредством ArcSDE на платформе Arc GIS Server.

Прогнозно-моделирующий комплекс гидрологического моделирования (ПМК «Паводок»), входящий в состав ПМП ЧС, передан в 2006 году ООО «Центр ГИС-Аналитик» в промышленную эксплуатацию Управлению прогнозирования природных и техногенных ситуаций МЧС Украины. Алгоритмы и модели, на базе которых производятся расчеты, внешний проблемно-ориентированный расчетный модуль LEVEL\_TS\_M для бассейна р. Тиса, а также детальные контура зон затопления для различных сценариев развития паводковых ситуаций для бассейнов рек Стрый, Днестр и Десна созданы при участии специалистов Украинского научно-исследовательского института гидрометеорологии (УкрНИГМИ) [5].

Таким образом, ПМК «Паводок» позволяет с максимально доступной на сегодня точностью провести оперативный расчет зон затопления в бассейнах рек Тиса, Стрый, Днестр и Десна.

В марте 2010 года ПМК «Паводок» был применен для прогнозирования возможных последствий весеннего половодья в Украине. Так по данным Украинского гидрометцентра средствами подсистемы моделирования и прогнозирования ПИАС НС было проведено воссоздание возможных вариантов развития половодья и анализ его возможных последствий по рекам Стрый, Днестр и Десна. По результатам пространственного анализа были выделены объекты (потенциально опасные объекты, части населенных пунктов, коммуникаций, дорог и т.д.), которые могли бы попасть в зоны прогнозируемых затоплений (Рис. 2).



Рис. 2. Выходной документ, сформированный по результатам работы ПМК «Паводок» по бассейну р. Десна на участке ее впадения в р. Днепр.

Результаты моделирования зон затопления, согласно существующему регламенту, опубликованы средствами Arc GIS Server ESRI версии 9.3 на Оперативной карте ПИАС ЧС, что обеспечило удаленный доступ лиц, принимающих решения к данной информации.

#### **ОПЕРАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ ЗАТОПЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДООХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ В ПОЙМЕ Р. ПРИПЯТЬ В ПРЕДЕЛАХ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ**

Необходимо отметить, что пространственное моделирование зоны затопления и оценка эффективности водоохраных сооружений на участке поймы р. Припять, прилегающем к Чернобыльской атомной станции (10 км зона), впервые было проведено в отделе ГИС ГСП "Инфоцентр Чернобыль" (г. Чернобыль) в 1999 году во время развития экстремальной паводковой ситуации в ближней зоне ЧАЭС. Группой специалистов отдела ГИС под руководством Ищука А.А. была разработана и оперативно реализована методика пространственного моделирования зон затопления средствами ГИС [2], ставшая впоследствии основой для ПМК «Паводок» ПМП ПИАС ЧС.

Данные прогноза возможных сценариев развития ситуации и ее радиологических последствий были своевременно представлены в апреле 1999 года паводковой комиссии МЧС Украины для формирования мер по предотвращению и минимизации последствий данной ситуации. 2 марта 2010 года МЧС Украины обратился с официальным письмом в Центр ГИС Аналитик, как к главному разработчику ПМП ПИАС ЧС, в котором содержалась просьба о прогнозировании возможных последствий развития половодья на ряде рек Украины, в т.ч. и на р. Припять в пределах Чернобыльской зоны отчуждения.

Таким образом, в 2010 году перед теми же специалистами, в настоящий момент являющимися ведущими специалистами Центра «ГИС-Аналитик», встала задача оперативного расширения области созданной тогда модели территории до границ Чернобыльской зоны отчуждения. Эта задача была успешно решена при поддержке Госводхоза Украины и ГСП «Чернобыльводэксплуатация», предоставивших необходимые данные о водоохраных сооружениях.

Моделирование показало, что *при уровнях воды в р. Припять, прогнозируемых УкрГМЦ МЧС на пик весеннего паводка этого года, все водоохраные сооружения выполнят свою задачу и не допустят перелива воды на загрязненные территории* (Рис. 3).



Рис. 3. Моделирование зоны наводнения в пойме р. Припять.

### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЛОВОДЬЯ В ПОЙМЕ р. ДНЕПР В ПРЕДЕЛАХ г. КИЕВА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Согласно официальному запросу Совета национальной безопасности и обороны (СНБО) Украины 2 марта 2010 года Центром «ГИС-Аналитик» начата разработка пространственной модели территории поймы р. Днепр в пределах г. Киева и его окрестностей (фактически - участок Днепровского каскада от Киевского до Каневского водохранилищ). КГП «Киевгеоинформатика» были оперативно предоставлены актуальные данные об изменениях в рельефе островов, а также о высотных отметках и геометрии намывных песчаных массивов, активно создаваемых в последние годы на затапливаемых участках поймы под застройку частных жилых и дачных строений. Серьезную помощь оказали также специалисты Госводхоза Украины, предоставившие данные о современном состоянии водоохранных сооружений на территории исследований. Всего через трое суток на стол руководителей СНБО и МЧС Украины легли первые результаты прогнозирования.

За это время были решены следующие задачи:

- приведена в соответствие с требованиями к топографическим поверхностям для гидрологического моделирования статистическая поверхность рельефа суши масштаба 1:10 000, полученная от КГП «Киевгеоинформатика»;

- систематизирована и введена в базу геоданных информация об объектах городской инфраструктуры, полученная от КГП «Киевгеоинформатика»;
- структурирована и добавлена к рельефу информация о водоохраных сооружениях, полученная от Госводхоза Украины;
- отработана технология пространственного моделирования зон затопления на данном участке с использованием средств пространственного анализа ГИС [4];
- отработана технология пространственного анализа последствий возможного затопления для участков жилой, промышленной и дачной застройки;
- на основании официальных прогнозов УкрГМЦ МЧС Украины рассчитаны зоны возможного затопления для различных возможных сценариев развития ситуации, включая наихудший возможный вариант повторения половодья 1979 года;
- результаты моделирования и пространственного анализа возможных последствий систематически в течении марта-апреля 2010 года оперативно передавались в организации, принимающие решения по данной ситуации (Рис. 4).

Модель создавалась на платформе Arc GIS 9.3 с использованием модуля Spatial Analyst. Цифровая модель рельефа приводилась в соответствие с требованиями гидрологического моделирования при помощи функции TopoGrid Arc GIS [3].

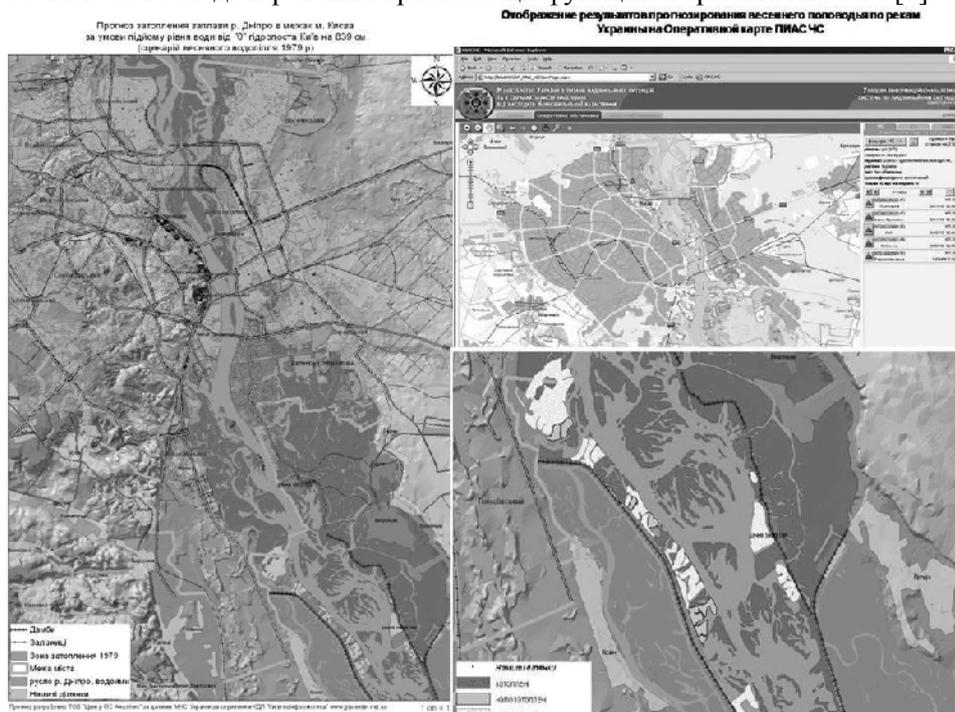


Рис. 4. Сценарий развития половодья 1979 года с учетом современного рельефа суши и русла: слева – ситуация в целом; справа сверху – прогноз зоны затопления на Оперативной карте ПИАС ЧС; справа внизу – ситуация на участке развития намывных песчаных массивов под застройку в районе урочища Конча Заспа

### **СОЗДАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА МЕЖДУ КИЕВСКИМ И КАНЕВСКИМ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ С ЦЕЛЬЮ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

По заданию СНБО Украины в марте-апреле 2010 года ИПММС и ООО «Центр ГИС-Аналитик» было проведено прогностическое моделирование возможных экстремальных сценариев развития весеннего половодья в пойме р.Днепр, включая сценарий потенциального разрушения плотины Киевской ГЭС.

Созданная совместными усилиями моделирующая система позволила впервые с учетом современной застройки и донного рельефа построить научно-обоснованные прогностические карты зон затоплений Киева от нижнего бьефа Киевской ГЭС до район Конча-Заспы. Расчет зон затопления проводился на основе моделирования движения паводковых вод над реальным рельефом с детализацией продольных и поперечных уклонов свободной поверхности, образующихся в результате донного трения и взаимодействия водного потока с дном и различными препятствиями - мостами, островами, косами.

В процессе работ впервые создана объединенная цифровая модель рельефа территории города и пригородных территорий с детализированной картой глубин р.р. Днепр и Десна (съемка 2006 года), которая учитывает новые намывные массивы, созданные под строительство жилых зданий и дач в затопляемой части поймы р.Днепр. Последние изменения рельефа поймы были учтены по результатам дешифрирования аэрофотосъемки 2009 года, предоставленным КГП «Киевгеоинформатика».

Батиметрическая информация была введена в двумерную модель динамики речных потоков, которая была разработана в ИПММС НАНУ, как развитие моделирующего комплекса, созданного в ИПММС по моделированию последствий Чернобыльской аварии для Днепроовского каскада водохранилищ. Эта модель уже получила международное признание и внедрена для расчетов водных объектов США, Сингапура и других стран мира. Модель основана на конечно-разностном решении нелинейных гиперболических уравнений в частных производных (уравнений мелкой воды) на неструктурированных треугольных сетках.

Для расчета задавалось начальное распределение уровней в нижнем бьефе ГЭС, которое в наихудших прогнозных сценариях предполагалось аналогичным гидрологическим условиям пика наводнения 1979 года – самого экстремального наводнения на данном участке после формирования современной структуры Днепроовского каскада водохранилищ. Сток воды из р. Десна в этом случае также задавался соответственно сценарию 1979 г.

Известно, что наибольшие зоны затоплений имеют место, если разрушения плотины ГЭС происходит во время высокого весеннего половодья. Формирование и распространение волны прорыва также зависит от его ширины. С учетом этого, наиболее пессимистический прогноз экстремальной ситуации, связанной с прорывом Киевской ГЭС, был рассчитан, исходя из предпосылки, что разрушение дамбы, происходит мгновенно с формированием зоны прорыва шириной 400 м в период максимума половодья, которое по своим гидрологическим условиям совпадает с половодьем 1979 года. Основной результат, полученный в результате расчетов показывает, что *разрушение дамбы Киевской ГЭС не приводит к катастрофическому затоплению жилых и промышленных помещений большему по масштабам, чем наводнение 1979 года.*

В случае разрушения плотины ГЭС дополнительно к зонам затоплений 1979 года добавится территория с. Погребы (севернее Троещины), небольшие участки на Оболони и Воскресенском массиве, прибрежная зона севернее проспекта Бажана, а также территории поселков Вишенки и Гнидин.

#### **ПЕРЕДАЧА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫМ ВЕДОМСТВАМ**

На сегодняшний день на Украине отсутствует единая система интеграции пространственных данных, которая была бы способна с необходимой эффективностью обеспечить на государственном уровне обмен данными, полученными с применением геоинформационных технологий. Функциональные подсистемы ПИАС ЧС, которые предназначены для обеспечения такой интеграции на платформе Arc GIS Server ESRI, ввиду практического прекращения финансирования их разработки сегодня не могут взять на себя решение этой задачи. В связи с этим, передача результатов прогнозирования заинтересованным ведомствам для разработки и последующей оценки эффективности мероприятий по минимизации возможных негативных последствий ледохода, половодья и паводков 2010 года проводилась следующими путями:

- для служб и подразделений МЧС, связанных внутренней компьютерной сетью министерства – средствами подсистемы ведения Оперативной карты ПИАС ЧС, на которой с периодичностью прогнозов УкрГМЦ МЧС публиковались новые результаты моделирования зон затопления (Рис. 4);
- для Секретариата СНБО Украины, руководства МЧС и Госводхоза Украины – в виде документов MS Office с картой ситуации, отправляемых по электронной почте (Рис. 2, 3, 5).



Рис. 5. Моделирование зоны наводнения и анализ возможных последствий ситуации прорыва плотины Киевской ГЭС в условиях половодья 1979 года

Разумеется, второй вариант лишает лицо, принимающее решение, возможности получить в едином интерфейсе Оперативной карты информацию смежных баз данных, привязанную к данной ситуации, изменить масштаб отображения и детальность карты, ее объектный состав, а также провести по своему усмотрению анализ объектов, попадающих в зону бедствия. Однако, существующая структура МЧС вообще не предполагает подразделения, например Кризисного центра, сотрудники которого были бы обучены таким «премудростям».

## ВЫВОДЫ

Интеграция усилий высокопрофессиональных коллективов для решения указанной задачи дала возможность получить следующие результаты:

1. Впервые на Украине взаимодействие министерств, ведомств научных институтов и аналитических центров в области прогнозирования возможных последствий стихийного бедствия эффективно велось на платформе ГИС с полномасштабным применением методов гидродинамического моделирования и пространственного анализа.

2. Впервые ПМК «Паводок», входящий в состав ПМП ПИАС ЧС, был применен и показал свою эффективность для прогнозирования реальной ситуации государственного масштаба.

3. Впервые проведено детальное гидродинамическое моделирование и оценены возможные последствия разрушения дамбы Киевской ГЭС на современном рельефе с учетом распределения глубин в русле р. Днепр.

4. На фоне высокого технологического уровня аналитиков, обеспечивших высокую эффективность прогнозирования и оценки возможных последствий опасных гидрологических явлений, показан недопустимо низкий уровень технологий обмена геоданными, в т.ч. результатами моделирования, между поставщиками исходной информации, аналитиками и лицами, принимающими решения в министерствах и ведомствах Украины.

## Список литературы

1. Ішук О.О. Взаємодія ГІС та проблемно-орієнтованих моделюючих комплексів в системах прогнозування та оцінки наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з паводками / О.О. Ішук, О.Г. Ободовський, О.С. Коноваленко – Науковий збірник КГУ «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія» 2. Т. 3 – 2002 р. – С.53-59.
3. Ішук О.О. Методологічні особливості використання аналітичних та моделюючих засобів ГІС для прогнозування і оцінки наслідків надзвичайних ситуацій на території України / О.О. Ішук // Ученые записки Таврического университета им. В.И. Вернадского, т.15 (54), №1, География, 2002 г. – С. 94-101.
4. Создание моделирующих комплексов прогнозирования и оценки последствий чрезвычайных ситуаций для Правительственной информационно-аналитической системы на платформе ArcGIS (ESRI) : материалы 5-й международной конференции [Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием], (АР Крым, г.т. Партенит 27-31 мая 2002 года.) / Ишук А.А., Швайко В.Г. и др. – Крым –2002
5. Ішук О.О. Прогнозування й оцінка наслідків екстремальних повеневих ситуацій засобами просторового аналізу ГІС / О.О. Ішук, Є.С. Середнін // Вісник геодезії та картографії – 2000. – № 2 – С.37-42.
6. Сусідка М.М. Математичне моделювання процесів формування стоку, як основа прогностичних систем / М.М. Сусідка. // Науковий збірник КГУ «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія» – 2000 р. – Т. 1 – С.32- 40.

**Ищук О.О. ГІС в прогнозуванні весняного водопілля 2010 року на Україні / О.О. Ищук, М.И. Железняк // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2010. – Т.23 (62). – № 2 – С.105-116.**

У статті наведено результати взаємодії міністерств, відомств, наукових і аналітичних центрів України при вирішенні проблеми прогнозування та оцінки можливих наслідків весняної повені 2010 року. При вирішенні даної проблеми застосовані методи просторового моделювання зон затоплення засобами ГІС, інтеграції ГІС із зовнішнім комплексом гідродинамічного моделювання, а також інструменти просторового аналізу ГІС щодо виявлення об'єктів, які постраждали.

**Ключові слова:** геоінформаційні системи, гідродинамічне моделювання, надзвичайні ситуації.

**Ishchuk O.O. GIS in predicting the spring flood in 2010 in Ukraine / O. Ischuk, M. Zheleznyak // Scientific Notes of Taurida National V. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2010. – Vol. 23 (62). – № 2 – P. 105-116.**

This paper presents the interaction results of ministries, departments, scientific and analytical Ukrainian centers of in the problem solution of forecasting and assessing a spring flood of 2010 possible impact. In solving this problem, apply methods of flood zones spatial modelling using GIS, the integration GIS with the outer set hydrological modeling system, as well as tools of spatial analysis of GIS to identify the affected objects .

**Keywords:** geographic information systems, hydrological modeling, emergency

*Поступила в редакцію 06.05.2010 г.*