

# Возможности Беларуси и России в создании автоматической измерительной информационной системы раннего оповещения (ИИС РО) в речных бассейнах

Физически во всех странах Америки и большинстве стран Западной Европы созданы измерительные информационные системы ИИС состояния водных ресурсов бассейнов рек. В настоящее время существует самая большая ИИС получения и передачи в Центр приема и обработки данных (в Вашингтоне), где оперативно анализируется информация о состоянии водных объектов Американского континента. Она начала создаваться в США в 1975г., в 1978г. к системе подключилась Канада, затем Мексика, Чили и другие страны. К системе подключено более 50 тысяч автоматических станций, которые передают информацию об уровнях, расходах и обычно до 20 характеристиках качества воды в реальном времени через геостационарные спутники Земли. Аналогичные системы имеются в Англии, Германии, Франции. В Японии в бассейне р. Кокагава создана даже автоматическая измерительная управляющая система (ИУС) [5].

Рогонович, д.т.н., Ф.Д. Шнипов, к.т.н.,  
Бездокимов, аспирант,

Республикой Беларусь и Российской Федерацией накоплен значительный, во многом уникальный, потенциал, который можно эффективно использовать для создания автоматических ИИС РО в речных бассейнах.

Поскольку всегда существует проблема финансирования работ по созданию ИИС, целесообразно начать работы с создания систем раннего оповещения в окрестности объектов с высокой вероятностью возникновения чрезвычайных ситуаций. Таких объектов много и на территории Беларуси и России. Например, Заславское водохранилище расположено выше г. Минска, Краснодарское – выше Краснодара.

В последние десятилетия во всем мире участились экстремальные природные явления в гидросфере, приносящие огромные материальные ущербы и даже гибель людей. Основные причины – это фактор глобального потепления, и интенсивно изменяющиеся гидрологические и гидравлические условия. К сожалению, Республика Беларусь не оказалась исключением. Ежегодно на нашей территории отмечается 25... 30 опасных гидрометеорологических явлений, влекущих серьезные экологические и экономические последствия [3]. Усилилось количество шквальных дождей и ветров. Если за период 1981–1990 гг. шквалов было 18, за период 1991–2000 гг. – 44, то только за 2005 год

их было 33, а в 2006 г. стало 44 [8]. В июне 1999 г. шквал в центре г. Минска, в районе Немиги, привел к гибели 53 девушек и юношей. 23–24 июля 2009 года примерно в том же районе Минска шквальные ливни привели к затоплению улиц – по ним плавали автомобили, – что привело к большим ущербам городскому хозяйству, кафе и магазинам, гражданам.

Анализ изменений климата и природных факторов в гидросфере за последние 150 лет на территории Беларуси показал, что повышается вероятность формирования паводков, а в последние десятилетия и разрушительных шквалов [10], [11]. Следовательно, увеличивается вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на водоподпорных гидротехнических сооружениях. Аварии с разрушением плотин происходят регулярно. К примеру, в 2006 г. в Беларуси имели место две аварии на малых водохранилищах [8]. Вероятность разрушения плотин водохранилищ, расположенных выше городов, в последнее время увеличивается по многим причинам.

На экстремальные природные явления в гидросфере в принципе не может не влиять потепление. В статье [14] количественно оценен вклад (примерно в 92%) повышения солнечной активности в современное потепление на территории Беларуси. Следовательно, увеличение солнечной активности – первопричина всех причин. Приведены [14] оценки влияния потепления на частоту возникновения больших наводнений (коэффициент корреляции  $R = +0,6$ ), выдающихся наводнений ( $R = -0,6$ )

и шквалов ( $R = +0,6$ ). Следовательно, примерно 40% вклада в перечисленные экстремальные явления вносит потепление.

Выявлена [14] тесная связь (коэффициент корреляции  $R = +0,99$ ) между количеством больших наводнений и шквалов. Следовательно, большие наводнения обуславливают возникновение шквалов.

Попытаемся дать этим двум фактам физическое объяснение. Как отмечалось ранее, начиная с 1970 г. солнечная активность повышалась, следовательно, совокупный поток лучистой энергии – поток солнечной радиации – интенсифицировался. Хотя в среднем 65% солнечной энергии поглощается Землей, поверхность земли и воды нагреваются по-разному из-за физических свойств. При одинаковых условиях инсоляции суша нагревается и охлаждается значительно интенсивнее, чем вода. Тепло распространяется на большую массу воды, и поверхность воды нагревается значительно меньше. Возникают значительные перепады температур у поверхности территорий, а следовательно, и большие градиенты давлений.

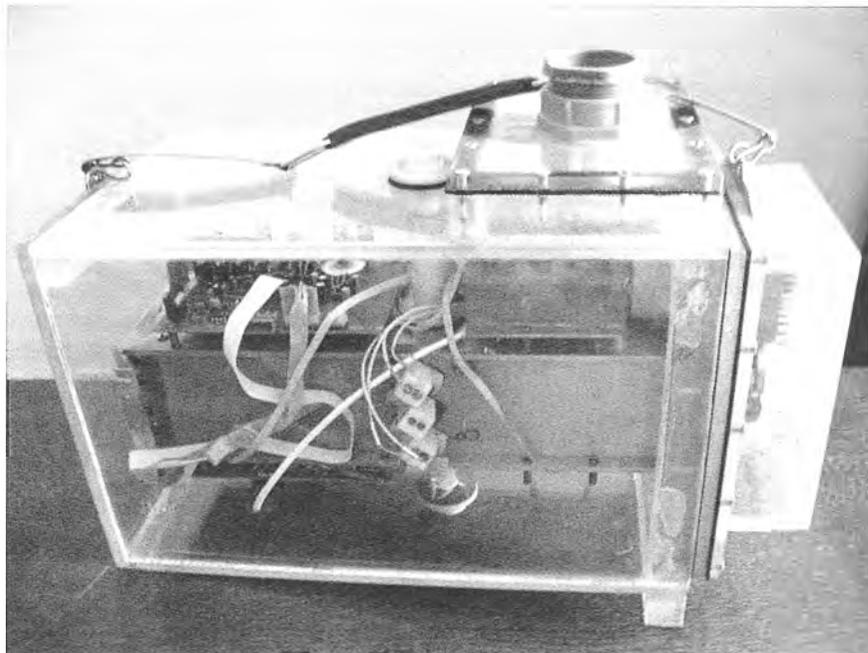
Гидрологические оценки характеристик водного режима рек при малых обеспеченностях изменились в связи с интенсивным, но слабоорганизованным использованием пойм, которые застраиваются без надлежащего инженерного обоснования. Они фактически не защищены при возникновении экстремальных режимов затопления.

Для оценки их устойчивости, а в случае необходимости, проектирования защиты сооружений, построенных и проектируемых в нижних бьефах водохранилищ, необходимо определение динамического воздействия на них как «прерывных», так и «непрерывных» волн.

Таким образом, вследствие природных (интенсивные паводки, шквальные ливни) и техногенных (в том числе и террористических актов) воздействий увеличивается опасность возникновения чрезвычайных ситуаций ниже подпорных сооружений водохранилищ.

Представляется очевидным, что без количественной оценки влияния на возникновение шквальных дождей самой





активной части гидросферы – атмосферной влаги – обойтись невозможно.

Надежно прогнозировать последствия чрезвычайной ситуации в нижнем бьефе гидросооружений возможно только с использованием ИИС РО подсистемы, позволяющей моделировать движение воды при внезапном разрушения подпорного фронта, производить оценку динамического воздействия «прерывных» волн на сооружения в пойме.

Создание ИИС РО, включающей средства оперативных измерений, моделирования, передачи в центр приема и обработки данных могло бы быть началом перехода в Республике Беларусь к бассейновому принципу управления водными ресурсами [4], [6].

**Основными функциями ИИС РО могли бы быть:**

- автоматическое измерение количественных (уровни, расходы) и качественных (концентрации примесей в воде) характеристик воды в представительных створах;
- прогноз количественных и качественных характеристик водных ресурсов с помощью математических моделей движения воды и примесей в ней;
- слежение за концентрацией и миграцией влаги в атмосфере с целью прогнозирования мест выпадения интенсивных локальных осадков и возникновения шквалов;
- передача алфавитно-цифровой информации по радиоканалам, в том числе и через геостационарный спутник Земли;
- сбор, приём и обработка данных.

### НАКОПЛЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БЕЛАРУСИ И РОССИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИИС РО: СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Создан матричный ультразвуковой измеритель для одновременного автоматического измерения уровней и определения расходов воды. За счет матричного УЗ-прозвучивания повышается точность определения уровней и расходов воды, опытные образцы УЗ-измерителя продемонстрировались на Всемирной выставке в Лиссабоне в 1998 г.

Для автоматических измерений концентрации примесей в воде разработана автоматическая гидрохимическая станция [16], опытный образец которой продемонстрировался в павильоне Республики Беларусь на Международной Выставке ЭКСПО-98 в Лиссабоне (рис 1). Ее особенность заключается в автоматической подкалибровке измерительных датчиков при существенном изменении их характеристик. Возможность работы станции в автоматическом режиме, в том числе и с передачей информации через геостационарный спутник Земли было испытано совместно с Московским НИИ радиосвязи.

### ПРОГНОЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Совместно Белорусским национальным университетом и Институтом гидродинамики СО РАН могли бы быть созданы математические модели водотоков и процессов движения воды и переноса примесей в них.

Существенные особенности движения воды в сложных системах водотоков при широких поймах невозможно учесть,

используя в качестве исходной – естественно систему уравнений Далека – Сен-Венана.

Исследования В. С. Никифорова [9] показали, что приемлемой задачей моделирования не достичь как при учете всей поймы как аккумуляющей емкости – М. В. Эббот, – так и учета сечения поймы суммарно с учетом водотока по обычным гидравлическим зависимостям.

Поэтому на основе использования школы акад. РАН Васильева О.Ф. – а именно: Атавина А.А., Воеводина Г.И., Гладышева М.Т., Шугрина С.М., – была предложена обобщенная система одномерных уравнений движения. При получении уравнения непресечности использован закон сохранения энергии. В него вошли, естественно, характеристики всего водного сечения водотока, включая русло и пойму. В динамическом уравнении движения предложено использовать только характеристики живого сечения, т.е. транзитных частей сечения, поскольку динамическое уравнение не может быть получено из закона сохранения импульса, который в нетранзитных частях сечения равен нулю. Так получены обобщенные уравнения нестационарного движения воды [15,12] пригодные к использованию в случаях выхода на сложную пойму:

$$\begin{cases} B_0 \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = q \\ B \frac{\partial Q}{\partial t} + 2\beta v \frac{\partial Q}{\partial s} + (c \cos \theta - \beta v) B \frac{\partial h}{\partial s} = \\ gA \sin \theta - gA \frac{Q|Q|}{K} + \beta v \frac{\partial A}{\partial s} h \end{cases}$$

где Q – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  
A – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;  
B<sub>0</sub> – ширина водного сечения, м;  
B – ширина живого сечения, м.

В работе [17] более детально представлено описание имеющегося в Республике Беларусь потенциала, необходимого для создания ИИС, по измерению и моделированию количественных характеристик водных ресурсов.

Измерение и моделирование качественных характеристик водных ресурсов, как составной части ИИС, является не менее, а может быть более важной (с учетом их влияния на население и окружающую среду) проблемой. На качество воды в бассейнах рек влияют многие факторы. К основным факторам в Республике Беларусь необходимо отнести воздействие предприятий химического и нефте-



ического комплекса, проводящих этой транспорта нефти и нефтепродуктов в том числе транзитных.

на химических предприятиях, которые, в правило, располагаются в бассейнах крупных трансграничных рек (Днепр, Западная Двина, Неман), также происходят аварии. К примеру, при аварии на ПО «Полимир» в 1991 году в Западную Двину попали цианиды. В результате аварии на протяжении сотен километров, в Беларуси и Латвии погибло все живое. На поверхности воды плыла отравленная вода, ее клевали птицы и падали в реку. Только по этим признакам местным населением было обнаружено отравление реки. Отметим, что за этим участком реки ведут наблюдения службы различных рангов МЧС и Минприроды, но из-за отсутствия оперативных средств мониторинга, ими не было вовремя обнаружено отравление реки, и, как следствие, не был осуществлен прогноз распространения цианидов в реке, оповещение населения и правительства Беларуси и Латвии. Поэтому для минимизации последствий техногенных аварий необходимо создание подсистемы ИИС оперативного мониторинга характеристик качества и моделирования переноса загрязнений в водных объектах, включающей автоматические гидрохимические станции и математические модели переноса.

исследования и результаты математического моделирования движения воды и переноса примесей в системах водотоков детально представлены в работе [12]. Здесь будут кратко представлены уникальные опыт и результаты математического моделирования переноса примесей в системах водотоков.

Математическое моделирование движения примесей в системах водотоков приводит к необходимости решения задачи краевых задач для уравнения Лапласа типа:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial(QP)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left( AD \frac{\partial P}{\partial s} \right) + Af$$

где P - концентрация примеси;

D - коэффициент дисперсии;

f - функция, характеризующая самоочищающую способность водного объекта.

Отметим, что одним из трудно определяемых параметров уравнения переноса является коэффициент дисперсии. Поэтому в большинстве случаев он определяется по упрощенным аналитическим и полуэмпирическим зависимостям, позволяющим в лучшем случае получать

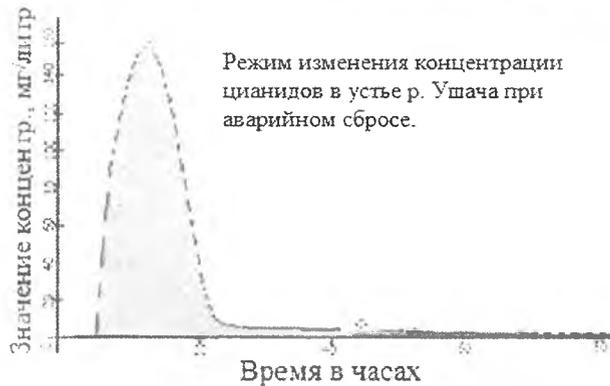


Рисунок 2. Результаты математического моделирования движения цианидов в Зап. Двине при аварии на ПО «ПОЛИМИР» в 1991г. Светлая область на рисунке – это уровень ПДК

**Режим изменения уровней и давления за время прохождения прерывистой волны в лабораторной установке**

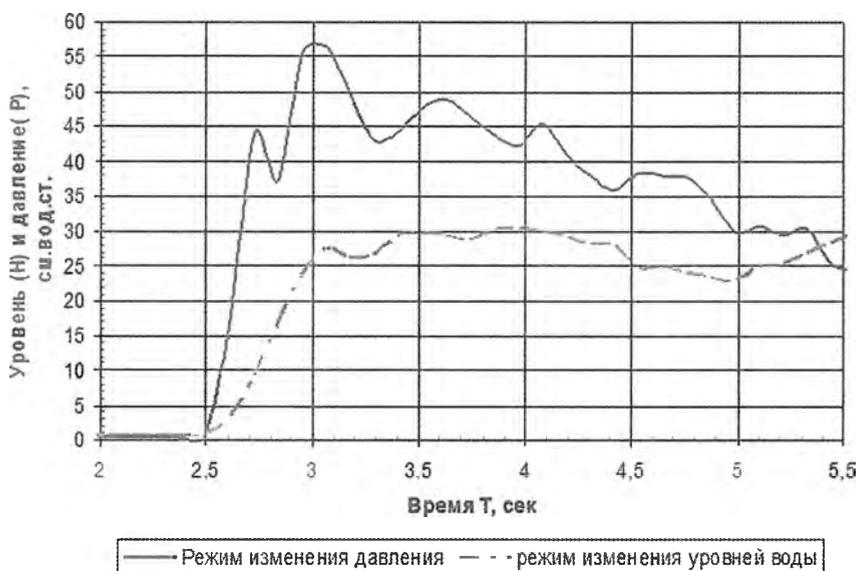


Рисунок 3. Режим изменения уровней и давления за время прохождения прерывистой волны в лабораторной установке

лишь порядок оценок [7]. Уточненная методика его определения в сечениях прямоугольной и трапецидальной формы с оценкой погрешностей расчетов представлена в работе [12]. Оценка относительной погрешности расчета коэффициента продольной дисперсии в потоках прямоугольного и трапецидальных сечений, для которых имелись экспериментальные

данные, привела к следующему результату:  $(7,7 \pm 9,3)\%$ , при доверительной вероятности 0,95. По-видимому, можно говорить об удовлетворительном согласовании и о наличии определенного потенциала моделирования коэффициент дисперсии, учитывая сложность процесса.

На рис. 2 представлены результаты математического моделирования движе-





ния цианидов в Зап. Двине при аварии на ПО «ПОЛИМИР» в 1991 г. По наблюдениям Латвийской АН в створе Даугавпилса восстановлен режим аварийного сброса цианидов в Западную Двину в устье р. Ушачи. Моделирование выполнялось представляемыми средствами для определения количества цианидов, поступившим на территорию Латвии.

Из представленных материалов следует, что в Республике Беларусь имеется и уникальный опыт математического моделирования переноса примесей в реальных водотоках.

## СЛЕЖЕНИЕ ЗА КОНЦЕНТРАЦИЕЙ И МИГРАЦИЕЙ ВЛАГИ В АТМОСФЕРЕ

Для уменьшения ущербов от шквальных ливней, необходимо в ИИС создавать подсистему слежения за концентрацией и миграцией влаги в атмосфере, выпадением интенсивных локальных осадков, поскольку атмосфера – основной источник вод речных бассейнов. В настоящее время имеются стандартные серийные радарные системы обнаружения облаков. С их помощью возможна оценка количества влаги в облаках, скорости и траектории их движения. По имеющейся информации Институтом физики НАН Беларуси могут быть созданы аналогичные лидарные системы.

## ПЕРЕДАЧА АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО РАДИОКАНАЛАМ

В настоящее время сбор и передача цифровой информации от автоматических средств измерений в центр приема и обработки данных проблем не вызывает средствами мобильной связи. Даже для самых больших рек с малонаселенными и труднодоступными территориями можно относительно просто – мощность передатчика около 10 Вт – передать информацию через геостационарный спутник земли.

## СБОР, ПРИЁМ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Сотрудниками кафедры гидротехнического и энергетического строительства БНТУ совместно с кафедрой радиофизики БГУ при поддержке Министерства образования Республики Беларусь по гранту № ГР2007905 создана [13] лабораторная многоканальная автоматическая ИИС для изучения «прерывных волн» и плавного изменяющихся течений жидкостей. Если заменить в созданной лабораторной многоканальной автоматической ИИС систе-

ме передачу информации по проводам на передачу по радиоканалу, то созданная ИИС может стать основой Центра приема и обработки данных ИИС РО бассейнов рек.

В связи с обострением ситуации [18], [19], [20] на водных объектах многих стран актуальными становятся задачи определения максимального динамического воздействия на сооружения, построенные в пойме рек. Они обычно сводится к моделированию в лаборатории обтекания конкретного объекта прерывной волной и к определению её воздействия на сооружения. На рис. 3 представлены графики измерения многоканальной автоматическая ИИС уровней и давлений при обтекании объектов прерывной волной.

Отметим интересные с научной точки зрения экспериментальные факты: скорость распространения давления опережает скорость распространения уровней, максимальное давление на обтекаемый объект примерно в два раза больше гидростатического.

Таким образом, на основе данных, получаемых с помощью лабораторной многоканальной автоматической ИИС, имеется реальная возможность оценки устойчивости существующих и проектируемых сооружений, а при необходимости проектирование защиты построенных объектов.

На наш взгляд, на первом этапе необходимо создавать ИИС РО на плотно заселенных паводкоопасных территориях, в нижних бьефах водохранилищ, в зонах размещения опасных химических и нефтехимических производств, как подсистему бассейновой ИИС.

На последующих этапах развития ИИС РО должна обосновывать варианты эффективных управленческих решений по минимизации последствий ЧС, т.е. превращаться в локальные измерительные управляющие системы (ИУС).

В Республике Беларусь и Российской Федерации в настоящее время нет средств оперативного в реальном времени слежения за состоянием гидросферы и по этой причине нет средств раннего оповещения. Не вырабатываются варианты эффективных управленческих решений. Лица, принимающие решение, особенно в чрезвычайных ситуациях, за короткое время физически не в состоянии выбрать достаточно эффективное управление, что приводит, и будет приводить большим ущербам.

Вместе с тем в настоящее время как представлено в сообщении существуют необходимые и достаточные предпосылки соз-

дания локальных ИИС РО. Такие системы позволят уменьшать гибель людей от затоплений и шквалов, определять динамическое воздействие на сооружения, построенные и проектируемые на территории, обосновывать их конструкцию и устойчивость от разрушений. Они могут быть установлены в настоящее время при проектировании ГЭС, эксплуатации водохозяйственных систем и повышении экологической безопасности в гидросфере бассейнов рек.

## Список использованных источников

- Атавин, А.А., Гладышев, М.Т., Шугрин С.М. Состояние и тенденции в открытых руслах//Динамика сплошной среды. Изд-во Института гидродинамики СО АН СССР. Вып. 22. – С. 37-64.
- Атавин, А.А., Васильев, О.Ф. В Сб.: Межведомственный симпозиум «Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидротехнических сооружений». СПб.: ВНИИГ, 2002. – 121 с.
- Герменчук М.Г., Мельник В.И. Оценка экономической эффективности обслуживания гидротехнических сооружений информацией отраслей экономики в Республике Беларусь.//Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 10-13.
- Гуринович А.Д. Варианты реформирования системы управления водопользованием и водосток в Республике Беларусь.//Белорусский экономический журнал. – 2008. – № 3. – С. 116-133.
- Духовный В.А. Орошение земель Японии.//Материалы и водное хозяйство. – 1990. – № 7. – С. 3135.
- Иванович М.М. Бассейновый принцип водостокосбора.//Юридический журнал. – 2008. – № 1. – С. 10-13.
- Мак-Дуэлл Д.М., Коннор Б.А. Гидравлика в устьевых рек/Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат, 1987. – 312 с.
- Национальная система мониторинга окружающей среды республики Беларусь: результаты наблюдений за состоянием окружающей среды в 2006 г. – Мн.: Бел. НИЦ «Экология», 2007. – 350 с.
- Никифоровская В.С. О численных моделях взаимодействия течений в руслах с поймами//Динамика сплошной среды. – 1978. – Вып. 35. – С. 89-98.
- Под редакцией академика РАН Гольберга М.А. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Сборник докладов Республиканского гидрометеорологического центра. – Мн.: Бел. НИЦ «Экология», – 2002. – 132 с.
- Под общ. ред. акад. Логинова, В.Ф. Изменения климата и последствия. – Мн.: ОДО «Тонпик», – 2003. – 330 с.
- Рогуневич, В.П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков. – Л.: Гидрометеоздат, – 1989. – 264 с.
- Рогуневич В. П., Евдокимов В. П., Лютко Г.И., Миклунович В.И., Шнитко В.Т., Варфоломеев А.Ю. Автоматическая измерительная информационная система (ИИС) для исследования разрывных и плавных изменяющихся течений.//Вестник БНТУ.-2009.- № 8-12.
- Рогуневич В.П. Потепление и экстремальные гидрологические явления в гидросфере Беларуси.//Природные ресурсы. – 2009. – № 1 – С. 89-94.
- Рогуневич В.П. Расчет водного режима системы водотоков. Всес. симпозиум «Численные методы в гидротехнике». Телави, 14-18. 04. 1980 г. – Л.: 1980. – С. 54-57.
- Рогуневич В.П., Рачевский А.Н. и др. Результаты испытаний автоматической гидрологической станции.//Природные ресурсы – 1999. – № 6. – Мн. – С. 91-100
- Рогуневич В.П. Средства для эффективного управления бассейнов рек.//Природопользование. – 2009. – № 1. – С. 88-94
- Asarin A. Flood control systems in Russia.//A. Asarin et al. Science et. IV. – Vol.78. – 2007. – P. 353-362.
- Kathleen P. Studies of ice jam flooding in The Netherlands.//P. Kathleen, P. White, M. Andrew/NATO Science and Technology Conference. – Vol.78. – 2007. – P. 255-268.
- Pilarczyk W. Flood Protection and Management in the Netherlands.//Pilarczyk/NATO Science Ser. IV. – Vol.78. – 2007. – P. 385-407.

