

В.А.Иванов, А.В.Прусов

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь***О ВЛИЯНИИ ГОРНЫХ ЛЕСОВ НА ВЫСОКИЕ ПАВОДКИ**

На основе гидравлической модели водостока, адаптированной к бассейнам рек Дунай и Днестр, оценены расходы и высота воды, обусловленные аномальными ливневыми осадками. Показано, что в некоторых регионах роль лесного полога в понижении пиковых уровней воды во время ливневых паводков может быть значительна.

Разрушительные последствия высоких паводков в Украинских Карпатах, их повторяемость и весьма вероятный рост в будущем уже сейчас требуют усиленного внимания, привлечения комплекса мер для возможного ослабления их влияния, предупреждения о них. Эти меры, например, строительство инженерных сооружений, рациональное ведение сельского и лесного хозяйства, требуют значительных капиталовложений, при том, что положительный результат они дадут не сразу. Предварительные оценки, относящиеся к вероятности повторения и даже усиления паводков в Карпатах, вызывают серьезное беспокойство. Угроза региону в будущем, исходящая от паводков, может только возрасти, если принять во внимание низкую и неуклонно снижающуюся лесистость (около 50 %), большое количество осадков (до 1600 мм/год), которое может еще увеличиться из-за весьма вероятного потепления климата. Поэтому уже сейчас требуются обоснованные сценарии возможного развития паводков и селей, с тем, чтобы знать, что нас может ожидать и какие меры возможно предпринять уже сегодня. В частности, важно обоснованно оценить роль горных лесов в ослаблении высоких паводков. Полемика по этому вопросу разгорается после каждого очередного катастрофического паводка [1 – 3].

После наводнения в августе 2002 г. страны Центральной Европы уже обсудили всевозможные меры защиты от паводков и наводнений, в том числе меры предупреждения и обоснованные рекомендации, планируемые получить с помощью моделей [4], адаптированных к бассейнам рек Дуэро (Дору), Тахо, Одер, Дунай, Рона, Рейн, По, Эльба, Тиса.

Цель этой работы – получить на основе гидравлической модели водостока [5] предварительные оценки влияния лесного полога на снижении пиковых уровней воды во время ливневых паводков.

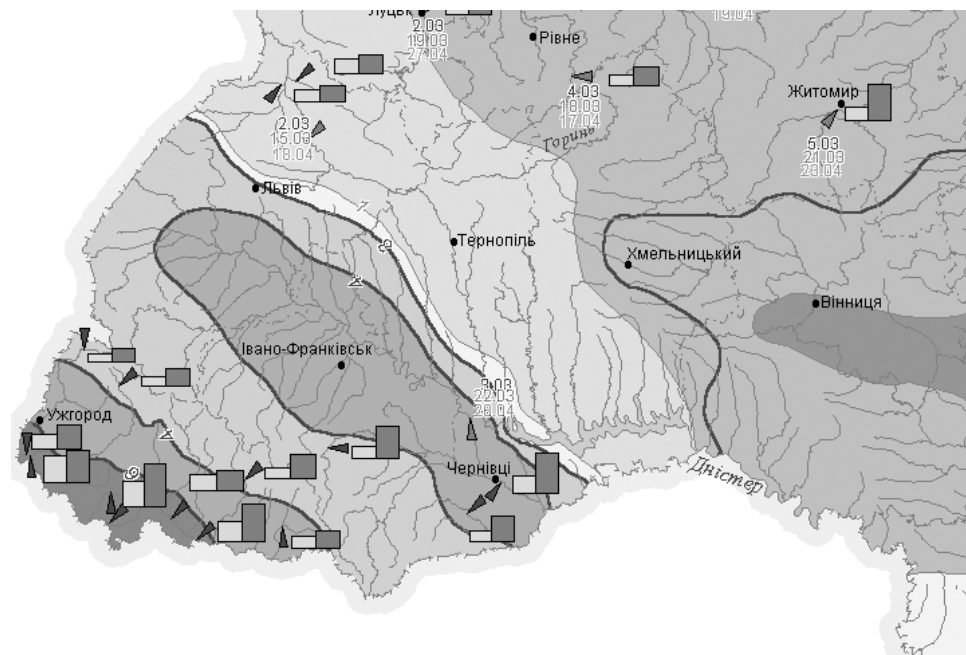
Оценка ливневого стока. Напомним основные географические и гидрометеорологические характеристики исследуемого региона и основные факторы, влияющие на динамику паводка [6 – 8]. Закарпатская область размещена в наиболее увлажненном регионе Украины. Основную часть поверхностных вод составляет речной сток, который достигает $576000 \text{ м}^3 \text{ с } 1 \text{ км}^2$ в год (в среднем по Украине $88500 \text{ м}^3 \text{ с } 1 \text{ км}^2$ в год). По территории области протекают 9429 водостоков общей протяженностью 19866 км, из них 9277 малых рек длиной до 10 км, что составляет 79 % всех водостоков, их общая длина 16248 км. Имеется 152 реки длиной свыше 10 км и 4 реки длиной

© В.А.Иванов, А.В.Прусов, 2005

100 км. Общая длина больших рек 3618 км. Средняя плотность рек 1,7 км на 1 км² (в горах 2 км/км², в низине 1,3 км/км²). Общая площадь зеркала поверхностных вод (рек, озер, каналов, прудов) 15000 га.

Большая часть речной системы области принадлежит бассейну реки Тиса. Горные реки составляют 75 % площади водосбора, равнинные 25 %. Средняя высота водосборов 800 – 1200 м, средний уклон 20 – 30 %, ширина водосборов 10 – 30 км. Среднее многолетнее количество осадков на территории области 939 мм, из которых 549 мм направляется на формирование речного стока, 390 мм – на выпаривание. По всей территории области в среднем стекает 19,8 л/с с 1 км², или 8 км³/год, что составляет 16 % стока Украины. Около 2 км³/год составляет транзитный сток рек, которые вытекают из-за границ области (Вишеу, Иза, Ублянка, Уличанка и прочие). С 1 км² территории области в среднем стекает 625000 м³ воды (по Украине 83000 м³). Из всего речного стока 40 % составляют дождевые воды, 30 % – снеговые, 30 % – грунтовые.

Для рек характерны весенние наводнения, а также наводнения на протяжении всего года (8 – 10 наводнений). В половодный период (март, август) формируется 55 – 70 % стока. Продолжительность стояния высоких уровней часто не превышает 4 – 8 суток. На малых реках уровень воды во время дождевых паводков может превышать максимальный уровень половодья. Это характерно для речных бассейнов, например, Днестра, Прута, где наивысшие уровни наблюдаются в разное время в течение теплого периода. На рис.1 показана карта паводков и наводнений в западной части Украины. Высота паводков определяется климатом и ландшафтными особенностями территории, а также зависит от площади бассейна: модуль максимального



Р и с . 1 . Карта многолетних наблюдений за паводками и наводнениями в западной части Украины (по данным [7]). Цифры у изолиний – высота воды (м).

стока уменьшается с увеличением бассейна [9 – 11]. Поэтому, сравнивая модули разных рек, всегда следует учитывать размеры бассейна. В данном бассейне величина паводкового стока зависит: от характеристик дождя – слоя выпавших осадков, их интенсивности и продолжительности, от влагонасыщенности бассейна к началу дождя – дефицита влаги в почве и наличия воды на поверхности.

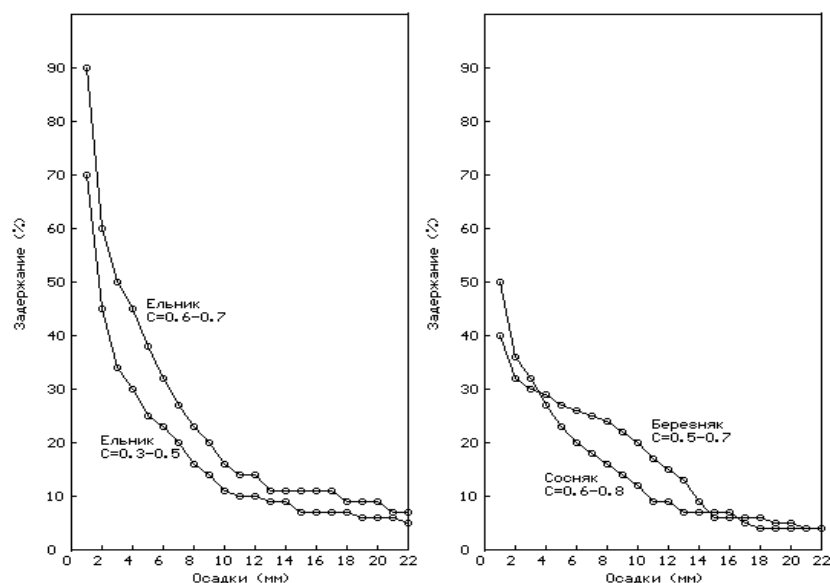
При слабых, хотя и продолжительных дождях почва в состоянии поглощать всю воду и значительные паводки не образуются. Наиболее опасными являются интенсивные и продолжительные ливни. Если дожди следуют друг за другом в течение нескольких дней, например, в случае прохождения серии циклонов, то каждый последующий дождь будет более эффективным с точки зрения формирования стока, т.к. насыщенность бассейна влагой постепенно повышается. Обычно большие паводки как на равнине, так и в горах образуются при продолжительных ливнях.

Основные потери дождевых осадков происходят в результате инфильтрации в почву. Часть воды расходуется на смачивание растительности и заполнение бессточных углублений. В лесу вода задерживается в моховом покрове и в подстилке, а в болотистой местности идет на насыщение торфяной массы. Испарение играет роль главным образом в промежутках между дождями. Наиболее благоприятные условия для образования паводков наблюдаются после весеннего снеготаяния, когда почва увлажнена до состояния наименьшей влагоемкости. Летом почва иссушается испарением и транспирацией и способна интенсивно поглощать воду. Осенью вследствие уменьшения испарения и возрастания осадков инфильтрационная способность снова понижается.

В соответствии с изменением влажности почвы изменяется и паводкообразующая эффективность осадков. Сразу же после схода снега коэффициент дождевого стока высок. В горных районах в отдельные паводки он может достигать 0,7 – 0,8. Летом величина его понижается, но затем снова возрастает к осени. В некоторых районах Украины наблюдаются зимние паводки, возникающие при сильных оттепелях, иногда сопровождающихся дождями. Интенсивность зимних паводков связана с температурой воздуха, а также жидкими осадками.

Растительный покров оказывает влияние на метеорологические условия (за счет роста коэффициентов турбулентного обмена), которые также изменяются и по другим причинам: транспирация, задержание твердых и жидких осадков и др. Растительный покров влияет на речной сток и, наоборот, сток влияет на растительный покров. Солнечная радиация в лесу тем меньше, чем больше деревьев на единицу площади. Лес может задержать до 99 % солнечной радиации по сравнению с открытой местностью. Температура воздуха в лесу днем понижена, ночью она выше, чем на открытой местности. Скорость ветра в лесу снижается в несколько раз в зависимости от густоты леса (до 6 раз). Влажность воздуха в лесу летом выше, чем в поле. Влияние леса на влажность малое. В основном оно обусловлено изменением лесом температуры воздуха.

Увеличение количества жидких осадков над лесом и задержание осадков на кронах деревьев взаимно компенсируются [11], и количество жидких

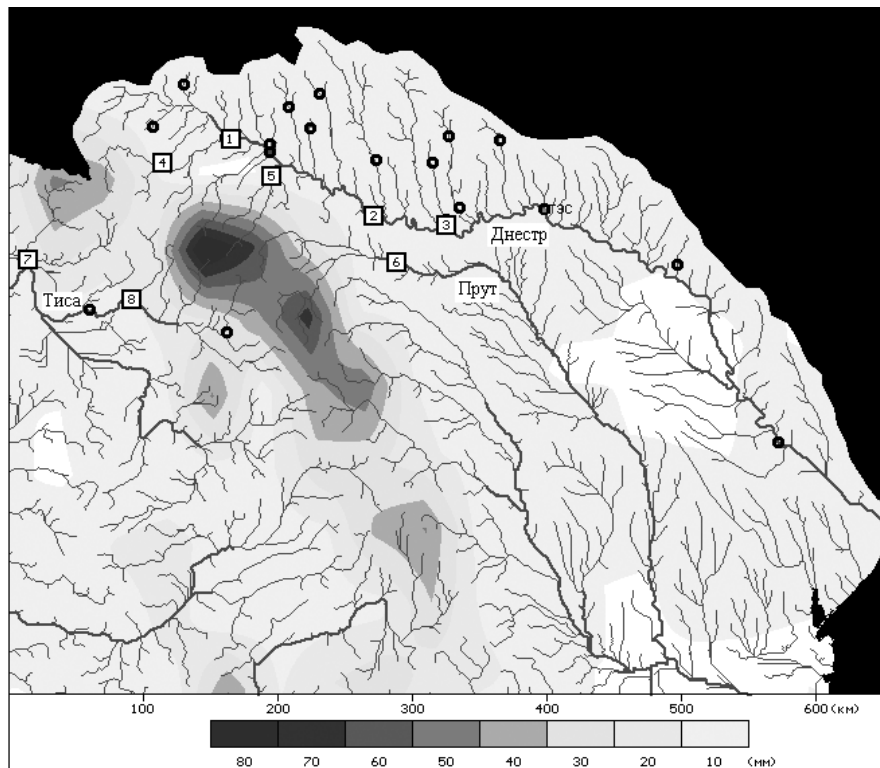


Р и с . 2 . Задержание (%) дождевых осадков в процессе выпадения дождя пологом различных древостоев (C_c – сомкнутость полога) [12].

осадков, достигающих почвы в лесу, в среднем примерно равно количеству жидких осадков, выпадающих на открытых пространствах. При катастрофических ливнях задержание лесом жидких осадков, конечно, может существенно повлиять на рекордные уровни подъема воды во время паводка, что мы ниже и попытаемся показать. Нужно отметить, что данных наблюдений о задержании жидких осадков пологом леса очень мало, и они, как правило, носят разрозненный характер. Это связано с трудностью проведения экспериментальных работ. Приведем некоторые результаты (рис.2) о задержании осадков пологом леса из [12]. Их мы будем в дальнейшем использовать, моделируя сценарий ливневого паводка.

Лес способствует переводу поверхностного стока в подземный, за счет этого весенний сток понижается, а водность летней и зимней межени увеличивается. Однако регулирующая его роль неодинакова в разных климатических зонах и зависит, кроме того, от многих факторов: распределения насаждений на водосборе, видового состава, возраста и сомкнутости леса, почво-грунтов и рельефа [10]. Именно поэтому количественная оценка влияния леса на сток половодья у разных авторов сильно расходится. Сложность учета влияния леса объясняется еще и тем, что факторы, связанные с лесом, действуют часто в противоположных направлениях, и выделить влияние каждого из них весьма трудно. Разрешить эту сложную проблему можно только с помощью аккуратных модельных расчетов.

Рассмотрим сценарий развития летнего ливневого паводка в регионе Западной Украины. В качестве начального уровня воды в реках возьмем уже вычисленный нами [5] по данным [13] стационарный уровень, относящийся к августу 1984 г. Будем считать, что на рассматриваемый регион сначала за двое суток выпала месячная норма осадков (см. временной ход 1-мин и суммарных осадков на рис.4), а далее выпадала обычная августов-



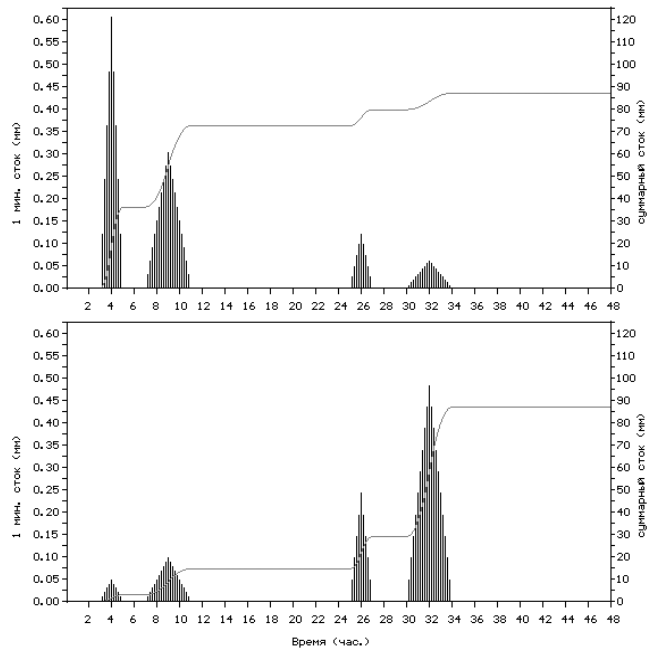
Р и с . 3 . Пространственное распределение поверхностного стока (мм) перед началом модельного ливня (по данным модели стока [13]). Цифрами 1, ..., 8 отмечены «пункты», для которых будут приведены гидрографы (см. рис.6). Кружочками отмечены реальные пункты наблюдений.

ская норма осадков. Здесь мы брали для расчетов не сами осадки, а уже вычисленный в [13] склоновый сток R_s [5]. Его пространственное распределение показано на рис.3.

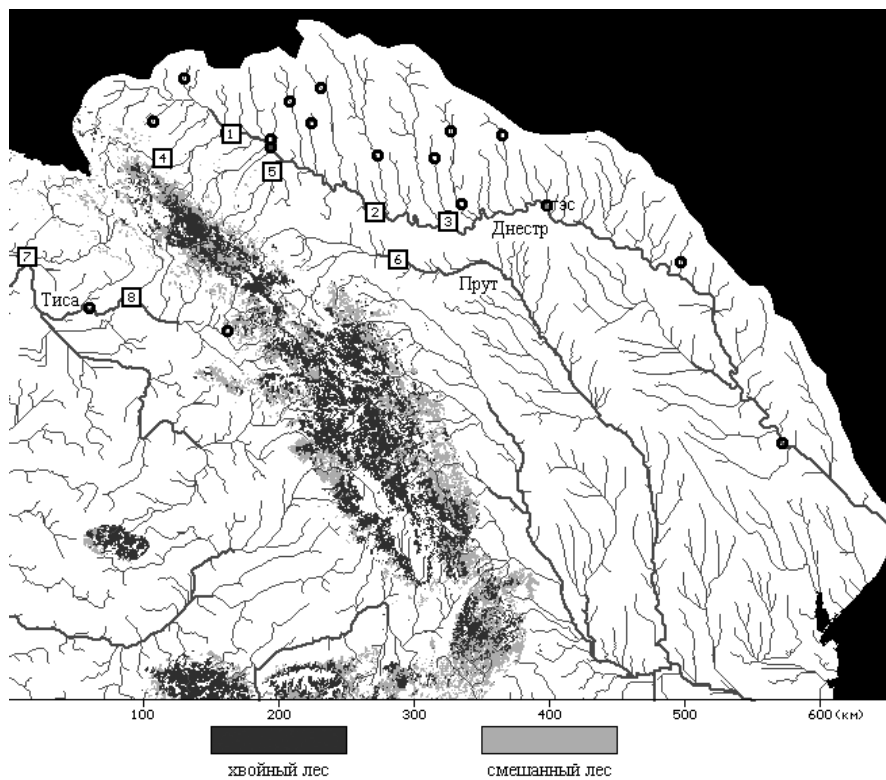
Два варианта первых двух суток временного хода 1-мин значений стока R_s вместе с суммарным стоком (сплошная линия) приведены на рис.4. Подобный временной ход осадков наблюдался в городах Zinwald и Fichtelberg во время катастрофического наводнения в Центральной Европе в августе 2002 г. [14].

Проведем модельные расчеты с учетом задержания воды лесным пологом и без учета лесов. На рис.5 показано распределение хвойных и смешанных лесов в Карпатах по данным массива из 243 экосистем [15]. Используем данные о задержании жидких осадков (рис.11 из [12]). Будем считать, что полог горного хвойного леса задерживает осадки как ельник с сомкнутостью полога 0,6 – 0,7, а полог смешанного леса – как березняк с сомкнутостью стволов 0,5 – 0,7. Более точных данных о задержании жидких осадков у нас пока нет (некоторая информация имеется еще в [11, 16]). На данной стадии важно решить вопрос в принципе.

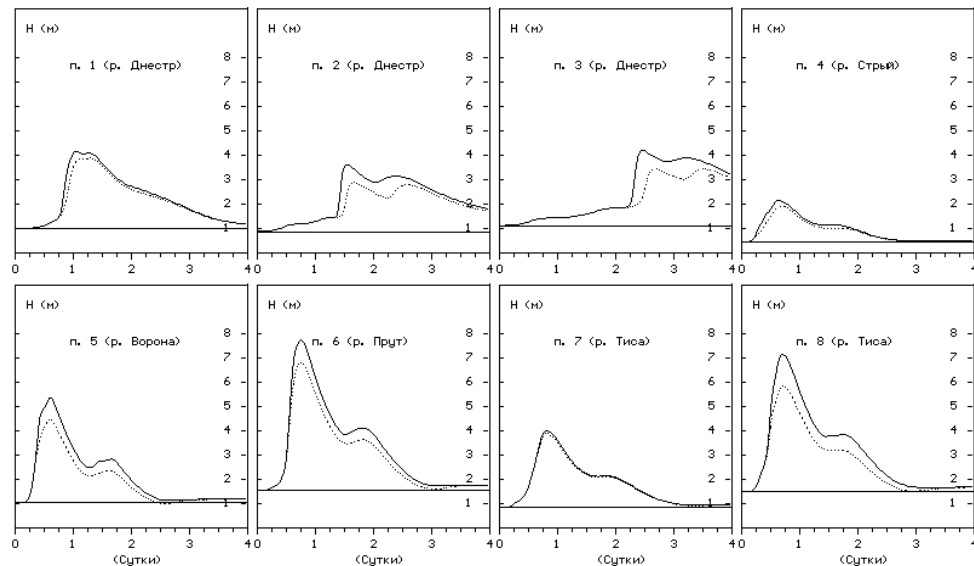
Рассмотрим модельные кривые изменения уровня воды (рис.6) в условных пунктах 1 – 8 (положение этих пунктов показано на рис.5). Приведены результаты только для случая 1-го ливня (на рис.4 – в первые сутки сильный



Р и с . 4 . Два модельных варианта 1-мин значе-
ний стока R_1 и суммарный сток (—).



Р и с . 5 . Пространственное распределение хвойных горных и смешанных
лесов (по данным [15]).



Р и с . 6 . Изменения уровня воды без учета (—) и с учетом (- - -) леса.

ливень, во вторые сутки – более слабый; быстрая реакция системы на изменения временного хода ливня видна на всех кривых, поэтому результаты моделирования для второго ливня здесь не приводятся). Видно, что снижение пологом леса пика подъема воды в п. Днестр 1 почти не заметно, а в п. Днестр 2 и п. Днестр 3 – значительное, что объясняется меньшей лесистостью водосбора для п. Днестр 1 и большей для п.п. Днестр 2 и 3. Самые заметные поправки в пиковые уровни воды лесной полог вносит в п.8 (Тиса). Кроме того, лес не только снижает максимальные уровни, но и задерживает приход паводковой волны на несколько часов. Изучение полной картины пространственно-временного распределения объемов воды и подъема уровня показывает, что в некоторых местах на реках Прут, Тиса, Днестр, а также и на некоторых малых реках снижение пологом леса уровня воды может оказаться существенным. Т.е. выводы о влиянии полога леса на уровни воды при высоких паводках нужно делать не из общих соображений, а путем расчетов для каждого конкретного региона. (Заметим [5], что скорость продвижения паводка в наших расчетах может быть завышена из-за слишком большого шага вычислений по горизонтали (1 км) и сильной извилистости рек исследуемой области. В дальнейшем предполагается провести более точные расчеты по данным о возвышении уровня с горизонтальным разрешением порядка 60 – 90 м).

Заключение. С помощью модели водостока, описанной в [5], где по данным о возвышении земной поверхности с шагом по горизонтали в 1 км, пространственным производным возвышения, склоновом и подземном стоке позволяет рассчитывать объемы, расходы и уровни воды в реках. Рассмотрено развитие паводка в двух случаях аномально высоких ливней. Показана зависимость развития паводка в реках Днестр, Тиса и Прут от объемов и времени выпадения осадков, а также количества и качества лесов в некоторых районах Украинских Карпат. Пробные расчеты показывают, что

влияние лесного полога на пиковые уровни воды во время ливневых паводков, может быть значительным. Т.е. исследования в этом направлении следует продолжать, привлекая новые, более точные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сытник К.* Уничтожение лесов и экологические катастрофы // Зеркало недели.– 28 октября 2000 г.
2. *Листопад О.* Закарпатье – пару лет спустя // Лесной бюллетень.– № 17-18.– июль 2001 г.
3. *Стойко С.* Паводки в Закарпатье и судьба горных лесов // Зеркало недели.– № 14 (338).– 7 апреля 2001 г.
4. *Ad de Roo, Jutta Thielen, Guido Schmuck.* 2003. Floods in Central Europe 2002. Proposal for extension of flood activities to the Elbe and Danube.– <http://natural-hazards.jrc.it>.
5. *Иванов В.А., Прусов А.В.* Адаптация гидравлической модели водостока к бассейнам рек Дунай и Днестр // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. (настоящий выпуск)
6. *Атлас* мирового водного баланса.– Л.: Гидрометеиздат, 1974.– 126 с.
7. *Атлас* України. Версия 1.0. Институт географії НАН України, 1999-2000. Інтелектуальні системи ГЕО, 1999-2000.
8. *Соседко М.Н.* Особенности пространственной структуры полей осадков на территории Украинских Карпат // Тр. УкрНИГМИ.– 1980.– вып.180.– С.81-85.
9. *Апполов Б.А.* Учение о реках.– М.: Изд. МГУ, 1952.– 522 с.
10. *Давыдов Л.К., Дмитриева А.П., Конкина Н.Г.* Общая гидрология.– Л.: Гидрометеиздат, 1973.– 462 с.
11. *Чеботарев Н.П.* Учение о стоке.– М.: Изд. МГУ, 1962.– 406 с.
12. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* Влияние полога леса на задержание, проникновение и распределение жидки осадков // Метеорология и гидрология.– 2001.– 10.– С.80-88.
13. *Fekete B.M., Vörösmarty C.J., Grabs W.* Global, composite runoff fields based on observed river discharge and simulated water balances.– WMO-Global Runoff Data Centre.– Report #22.– Koblenz, Germany, 1999.
14. *Ulbrich U., Brücher T., Fink A.H., Leckebusch G.C., Krüger A., Pinto J.G.* The central European floods of August 2002: Part 1. Rainfall periods and flood development // Weather.– 2003.– v.58.– С.371-391.
15. *Masson V., et al* Global database of land surface parameters at 1 km resolution in meteorological and climate models // J. Climate.– 2003.– v.16, № 9.– P.1261-1282.
16. *Карпечко Ю.В.* Оценка пространственной и временной неоднородности задержания жидких осадков пологом леса // Лесоведение.– 1997.– 4.– С.64-70.

Материал поступил в редакцию 23.02.2005 г.