

были характерны дождевые паводки. Для некоторых рек был характерен выход реки на пойму. Соответственно эти условия могли сказаться на ухудшении качества воды поверхностных водных объектов, в первую очередь, вызвать снижение содержания растворенного кислорода, увеличение содержания органических веществ.

Согласно системе оценки состояния поверхностных водных объектов, принятой в республике, в 2016 году количество участков водотоков республики с отличным и хорошим гидрохимическим статусом составляло 92,8 % от общего количества охваченных наблюдениями, отличным и хорошим гидробиологическим статусом – 65,9 %. Количество водотоков с плохим гидробиологическим статусом составляло 4,7 %, плохой гидрохимический статус не присвоен водотокам.

Состояние водоемов республики, охваченных наблюдениями по гидрохимическим показателям в 2016 году, характеризовалось отличным и хорошим гидрохимическим статусом. На долю водоемов, гидробиологический статус которых оценивался как отличный и хороший, приходится 78,6 %, удовлетворительный – 19 %, плохой – 2,4 %.

УДК 621.9.08: 004.514.62

Д. О. Петров, магистр техн. наук, А. А. Волчек, проф., д-р геогр. наук,
Д. А. Костюк, доц., канд. техн. наук
Брестский государственный технический университет, г. Брест

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕСЕННИХ НАВОДНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О СНЕГОЗАПАСАХ НА РЕЧНОМ ВОДОСБОРЕ

Прогноз развития наводнений является сложной задачей, требующей учета комплекса различных факторов. В частности, водный режим р. Припять (и ряда других рек, питание которых также относится к смешанному типу с преобладанием снегового) характеризуется длительным весенним половодьем. Поэтому учет динамики накопления снеготаяния позволяет существенно повысить точность прогноза и тем самым эффективнее провести организационно-технические мероприятия по нивелированию последствий наводнения.

Основным источником формирования максимальных расходов, которые могут повлечь материальный и социальный ущерб, являются запасы снега на начало периода активного снеготаяния. Кроме количества снега, значительный вклад в формирование весеннего половодья оказывают погодные условия. Таким образом, имея оценку количества воды, накопившейся в виде снега на водосборе, можно спрогнозировать объем весеннего стока реки. В свою очередь, используя прогноз температур и осадков на среднесрочную перспективу, можно оценить интенсивность снеготаяния и соответственно максимальный расход реки в период половодья.

Сложность в оценке запасов снега и количества воды в снеге заключается в неравномерности его распределения по водосбору. Наблюдаемые значения толщины снежного покрова и его плотности соответствуют расположению снегомерных ходов. Однако на территории водосбора условия формирования снега не однотипны. Кроме наличия различных типов ландшафтов (болото, лес, пашня) на накопления снега оказывает значительное влияние антропогенная деятельность. В этих условиях видится не целесообразным переносить или даже интерполировать измеренные таким способом значения толщины снежного покрова и его мощности в целом на весь водосбор.

С 70-х годов прошлого века для оперативной оценки состояния снеготаяния активно используются методы дистанционного зондирования земной поверхности на основе измерения радиотеплового излучения Земли при помощи ряда орбитальных платформ (SSMR, SSM/I, AMSR-E) [1]. Снежный покров обладает способностью ослаблять радиотепловое излучение от подстилающей земной поверхности. Благодаря этому можно вычислить

толщину снега и его водный эквивалент на основе таких физических параметров снежного покрова, как плотность снега и размер составляющих его ледяных кристаллов (размер зерна).

Для вычисления водного эквивалента снежного покрова S используется эмпирическая регрессионная зависимость, известная как модель Чанга [2], учитывающая разницу между радиояркими температурами частотных каналов 19 и 37 ГГц горизонтальной поляризации сенсора SSM/I:

$$S = 4,8(T_{19h} - 5 - T_{37h}),$$

где T_{19h} и T_{37h} – радиояркие температуры частотных каналов соответственно 18 и 37 ГГц горизонтальной поляризации, а коэффициент 4,8 соответствует плотности снежного покрова $0,30 \text{ г/см}^3$ и размеру зерна 0,3 мм.

Существенный недостаток такого метода оценки снегозапасов – низкое пространственное разрешение (от 12 до 25 км). Кроме того, на точность вычисленных параметров значительно влияют растительность, сложность рельефа, характер снежной толщи [3]. Наконец, к невозможности определения водного эквивалента приводит наличие воды на поверхности снежного покрова (из-за поглощения микроволнового излучения) [4].

При выполнении исследования использован находящийся в свободном доступе архив наблюдений динамики изменения водного эквивалента на площади северного полушария Земли за период с 1979 г. по 2014 г., созданный в рамках проекта GlobSnow [5]. Данные архива получены путем ассимиляции результатов наблюдений наземных метеорологических станций с измерениями орбитальных пассивных сенсоров микроволнового излучения SMMR и SSM/I. Измерения орбитальных пассивных сенсоров имеет суточную детализацию, в отличие от данных снегомерных съемок, имеющих интервал 5–10 дней. Сам архив представляет собой набор матриц размерностью 721×721 , элементы которых содержат значения усредненной толщины водного эквивалента снежного покрова в миллиметрах. Вершины ячеек матриц спроецированы на поверхность северного полушария Земли при помощи азимутальной равновеликой проекции Ламберта с центром, расположенным на полюсе сферы. Каждая ячейка имеет размеры $25 \times 25 \text{ км}$ и площадь, равную 625 км^2 . Для расчета объема воды в снежном покрове выбраны 208 ячеек матрицы вычисленных значений водного эквивалента, покрывающих площадь 130000 км^2 на территории водосборной площади р. Припять с расположением замыкающего створа поблизости гидрологического поста наблюдения в г. Мозырь. Для сопоставления с динамикой накопления воды на водосборе использованы измерения ежедневного среднесуточного расхода воды в р. Припять на гидрологическом посту у г. Мозырь, выраженные в кубических метрах в секунду, за промежуток времени с ноября по март каждого года, начиная с 1979 г. и заканчивая 2004 г.

Так как водный эквивалент снежного покрова выражается в миллиметрах толщины слоя воды – объем воды в ячейке вычисляется как произведение величины водного эквивалента и соответствующей площади элемента матрицы. Следовательно – объем воды в снегу на водосборной площади, выраженный в км^3 , можно получить путем суммирования рассчитанных объемов для в каждой из 208 ячеек.

Используя приведенные соотношения рассчитаны ежедневные величины объема воды в толще снега на исследуемой территории за тот же промежуток времени, что и среднесуточные расходы на гидрологическом посту г. Мозырь.

С 1979 по 2014 гг. в бассейне р. Припять катастрофические половодья, сопровождаемых наводнениями, были зарегистрированы в 1979 и 1999 году – максимальные расходы воды по гидропосту г. Мозырь составили $4300 \text{ м}^3/\text{с}$ и $3270 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно. К сожалению, оценить динамику изменения объема воды в снежном покрове весной 1979 г. оказалось невозможным по причине отсутствия соответствующих данных в архиве GlobSnow. С другой стороны, анализ ежедневного изменения содержания воды в снегу на водосборной площади р. Припять позволил обнаружить примечательный факт – рассчитанное значение величины накопленного объема воды 05.02.1999 скачком падает до нуля, сохраняется в течение 50 дней, а затем 26.03.1999 также скачком принимает незначительное положительное значение. Так как половодье в 1999 г. проходило при интенсивном таянии снега, сопровождаемым

выпадением значительного количества осадков (от 110 % до 255 % нормы) – наблюдаемую аномалию в измерениях водного эквивалента снежного покрова возможно объяснить значительной влажностью снега и наличием слоя воды на его поверхности, полностью поглощающего микроволновое излучение (см. рисунок 1). Следует отметить, что временной интервал между началом интенсивного таяния снега 05.02.1999 и началом заметного увеличения расхода воды на гидрологическом посту наблюдения 04.03.1999 составил 28 дней.



Рисунок 1 – Динамика накопления воды в снежном покрове на водосборной поверхности р. Припять и расхода воды в замыкающем створе у г. Мозырь в (1998–1999 г.г.)

Для выявления взаимосвязи между изменением содержания воды в снеге на водосборной площади и расходом воды на контрольном гидрологическом посту при прохождении катастрофического половодья выбран математический аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС).

В качестве архитектуры прогнозирующей ИНС был выбран многослойный персептрон с одним скрытым слоем и сигмоидной функцией активации нейронов. Исходя из факта, что во время половодья 1999 г. промежуток времени между началом интенсивного уменьшения содержания воды в снежном покрове и возрастанием расхода воды на контрольном гидрологическом посту составил 28 дней, для функционирования ИНС использован метод скользящего окна размерностью 28 и эмпирически подбираемым шагом из последовательности значений [3, 5, 7].

Для проведения численных экспериментов временной ряд изменения величины содержания воды в снежном покрове был заменен на сигнал прямоугольной формы, изменяющий свое значение с единицы на ноль 05.02.1999, тем самым отмечающий начало таяния снега по всему водосбору, а временной ряд ежедневных расходов воды на гидропосту г. Мозырь отмасштабирован в диапазон значений [0, 1] (см. рисунок 2).

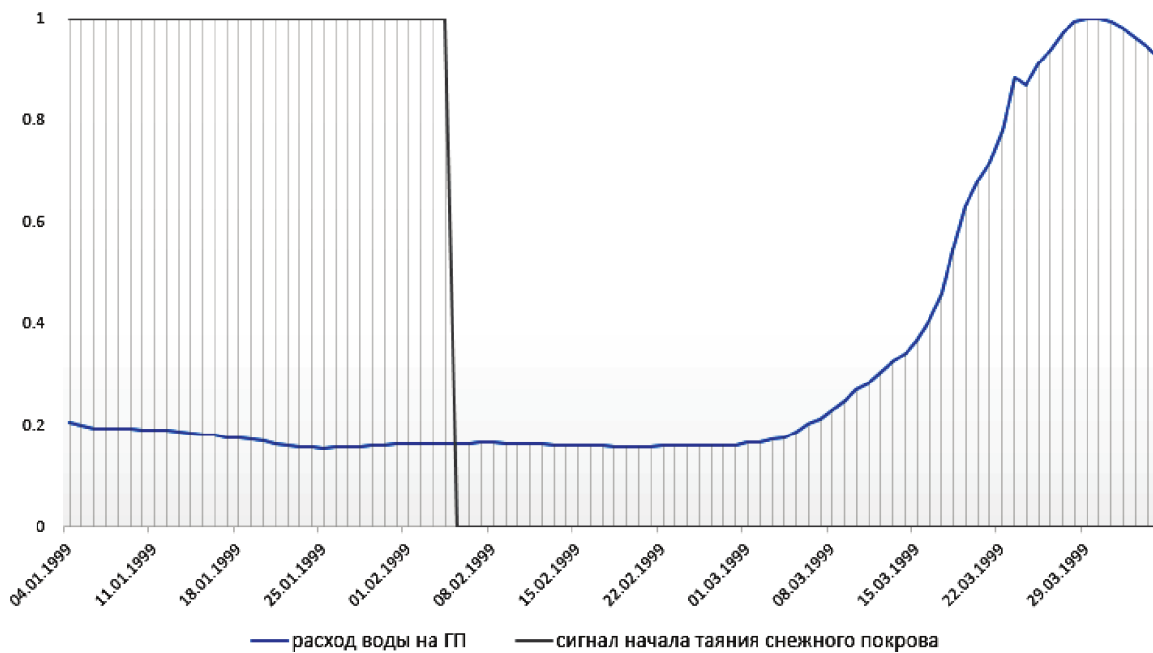


Рисунок 2 – Совмещение графиков изменения влажности снежного покрова и ежедневных расходов воды на гидропосту г. Мозырь

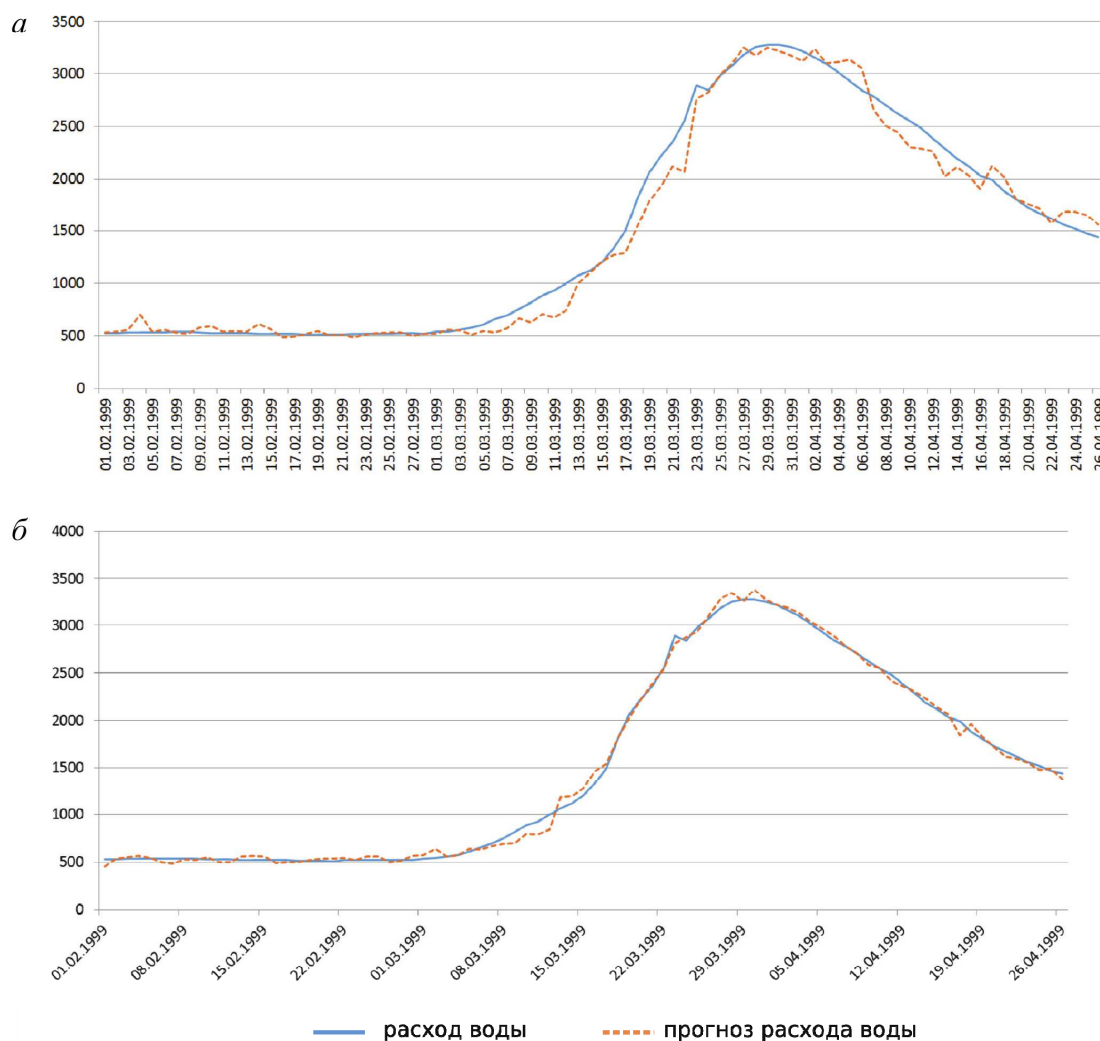


Рисунок 3 – Прогноз временного ряда расходов воды на гидропосту без учета дополнительной информации (а) и прогноз расходов воды с учетом изменения состояния снежного покрова на водосборной площади (б)

С использованием ИНС исследовалось качество упреждающего прогноза расхода воды на 3, 5 и 7 дней, при учете 28 предыдущих значений расходов воды на гидрологическом посту и соответствующей истории изменения состояния снежного покрова. Для проведения исследования использованы три нейронные сети с 56 входными нейронами (два набора значений по 28 последовательных суточных величин расхода воды на гидрологическом посту наблюдения и изменения влажности снежного покрова на водосборной площади), 60 нейронами в единственном промежуточном слое и числом выходных нейронов от 3 до 7. Нейронные сети были обучены и протестированы на выборках, охватывающих промежуток времени равный 86 дням с 01.02.1999 по 28.04.1999. Наилучший результат удалось получить при прогнозировании расхода воды на 7 дней вперед (см. рисунок 3), причем значение коэффициента корреляции приближалось к единице. Очень высокое значение коэффициента корреляции, возможно, объяснить фактом излишнего обучения нейронной сети на выборке данных ограниченного размера при проведении экспериментов оценочного характера.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что пассивное микроволновое сканирование поверхности Земли позволяет надежно установить начало интенсивного таяния снежного покрова на всей поверхности водосборной площади с точностью до одного дня, что приводит к возможности повышения качества упреждающего прогнозирования расходов воды в контрольной створе реки при прохождении весеннего половодья, переходящего в наводнение.

Список использованных источников

1 Шарков, Е.А. Пассивное микроволновое зондирование земли: прошлое, настоящее и планы на будущее / Е.А. Шарков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – В. 1. – Т. 1. – С. 70–80.

2 Chang, A.T.C. Snow water equivalent determination by microwave radiometry / A. T. C. Chang, J. L. Foster, D. K. Hall, A. Rango, B. K. Hartline // Cold Regions Science and Technology. – 1982. – № 5. – P. 259–267.

3 Носенко, Г. А. О возможности практической реализации существующих алгоритмов восстановления характеристик снежного покрова по данным микроволновых съемок из космоса для мониторинга водных ресурсов / Г. А. Носенко, Н. А. Долгих, О. А. Носенко // Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сборник. – М.: изд. GRANP polygraph, 2005. – Т. II. – С.150–156.

4 Stiles, W.H. The active and passive microwave response to snow parameters / W. H. Stiles, F. T. Ulaby // Journ. of Geophys. Research. – 1980. – № 85. – P. 1037–1044.

5 Snow Water Equivalent (SWE) product guide / K. Luojus, J. Pulliainen, M. Takala, J. Lemmetyinen, C. Derksen, L. Wang // GlobSnow Consortium [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.globsnow.info/swe/GlobSnow_SWE_product_eadme_v1.0a.pdf. – Дата доступа: 08.06.2016.

УДК 556.5 (1/9)

В. А. Рыбак, канд.техн.наук., доц., Е. Е. Петлицкий, В. Н. Корнеев, А. В. Пахомов
Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

С развитием информационных технологий встает вопрос их использования для целей охраны окружающей среды. В рамках непрерывной работы по совершенствованию использования водных ресурсов в РУП «ЦНИИКИВР» выполняются исследования по разработке новых технологий дистанционного зондирования земли с целью поддержки принятия решений в области рационального использования водных ресурсов.