

## ДЕТЕРМИНИРОВАНО-СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУТНОСТИ ВОДЫ В РЕКАХ

Шмакова М.В.<sup>1</sup>, Кондратьев С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – ИНОЗ РАН, СПб, Россия, *m-shmakova@yandex.ru*

**Аннотация.** В работе представлена ДС моделирующая система «Погода – Сток – Наносы», которая позволяет оценить параметры распределения суточных значений стока наносов и мутности воды.

Ключевые слова: мутность воды, моделирование, водоток, параметры распределения.

Взвешенные вещества – это минеральные и органические вещества (частицы глины, песка, ил) и различные микроорганизмы, присутствующие во взвешенном состоянии в толще водного объекта. Концентрация взвешенных веществ в воде характеризуется понятием мутности.

Формирование мутности водного объекта, как и любой природный процесс, зависит от целого комплекса причин. Однако, в зависимости от типа водного объекта, источники мутности и вклад той или иной составляющей этого процесса может быть различен. Основным источником мутности для водотоков и водоемов является почвенная эрозия. Вклад почвенной эрозии в общее количество твердых частиц в водных потоках может достигать до 90 % [2]. Этот вклад определяется физико-механическими характеристиками почво-грунтов, слагающих водосборную площадь, типом растительности, климатическими характеристиками, а также интенсивностью антропогенной деятельности на водосборе или в пределах водного объекта. Поступление твердого вещества с поверхности водосбора может происходить в результате ветрового переноса пылеватых частиц, водной эрозионной деятельности микроручейковой сети в период интенсивных осадков и снеготаяния.

Некачественные, редкие и нерегулярные данные наблюдений за гидрохимическими показателями и мутностью воды приводят к недостоверным статистическим оценкам, что чревато заданием ошибочных качественных и количественных ориентиров для различных сфер водопользования. Ситуацию усугубляет то, что данные наблюдений могут быть неоднородными по своему генезису – наблюдения в условиях естественного фона дополняются значениями, измеренными на момент техногенных влияний или аномальных погодных условий.

На текущем этапе состояния наблюдательной базы при достаточно приемлемо изученных процессах формирования водных, эрозионных и гидрохимических потоков и общего массообмена в системе «водосбор – водный объект» крайне эффективными и актуальными являются методы математического моделирования. Физически обоснованная расчетная схема транспорта твердого вещества в водном объекте с перечисленными выше требованиями определена необходимостью достоверных оценок основных характеристик содержания такового в водном объекте, а также и в качестве дополнения к моделирующей системе двухфазного массообмена водного объекта.

Если в основе имитационного моделирования лежат детерминированные связи, достоверно описывающие взаимосвязи переменных состояния системы, то такое моделирование имеет самые широкие возможности в прикладных приложениях для решения практических задач с одной стороны, так и теоретических исследований реакции системы на нелинейные воздействия внешних факторов.

Разработанная в ИНОЗ РАН ДС моделирующая система «Погода – Сток – Наносы» основана на стохастической модели погоды, модели формирования стока на водосборе и модели годового стока наносов [1]. В системе реализована концепция

композиционного метода теории вероятности, который позволяет оценить параметры распределения функции (жидкого и твердого стока через параметры распределения аргументов (метеорологические величины).

Объектом моделирования в данной работе является река Нарва, трансграничный водоток, относится к водным объектам, подлежащих Федеральному государственному контролю и надзору за использованием и охраной водных объектов. Ввиду большой водохозяйственной востребованности реки Нарва, будет актуально оценить в режиме численного эксперимента параметры мутности в условиях возможного изменения климата. В качестве климатического сценария был принят сценарий ЕСНАМА2, описание которого было приведено в [1].

Моделирование стока предварила оценка параметров распределения суточных значений температуры воздуха и слоев осадков для метеостанции г. Псков для периода с 1980 по 2010 гг. Далее параметры распределения этих рядов были откорректированы с учетом климатического прогноза и сгенерированы ряды с прогнозными значениями метеорологических элементов продолжительностью 100 лет. Эти ряды обеспечили вход в модель формирования стока согласно схеме ДС моделирующей системы. Параметры распределения расходов воды легли в основу генерирования рядов мутности воды. В Таблице 1 приведены параметры распределения суточных расходов воды и мутности воды, рассчитанных соответственно по модели формирования стока и модели годового твердого стока. Согласно полученным результатам, изменение климата приведет к уменьшению стока и увеличению мутности воды. Тенденция увеличения мутности с уменьшением расхода воды выражена для данных наблюдений в расчетном створе и обеспечивается обратной связью мутности воды и средней глубины потока. При численной реализации прогноза ЕСНАМА2, среднее значение мутности в расчетном створе увеличится на 79 %, а медиана на 124 %.

**Таблица 1** – Параметры распределения наблюдаемых и сгенерированных рядов (прогноз ЕСНАМА2) расхода воды и мутности ( $X_{cp}$  – среднее;  $M$  – медиана;  $C_v$  – коэффициент вариации;  $X_{25\%}$  и  $X_{75\%}$  – квантили вероятностью 25 % и 75 %)

	$X_{cp}$	$C_v$	$M$	$X_{25\%}$	$X_{75\%}$	$X_{25\%}-X_{75\%}$
Расход воды наблюдаемый, м <sup>3</sup> /с	312	0.35	308	376	234	142
Расход воды смоделированный, м <sup>3</sup> /с (прогноз ЕСНАМА2)	160	0.26	157	186	130	56
Мутность воды наблюдаемая, г/м <sup>3</sup>	5.33	0.99	3.90	6.24	2.14	4.10
Мутность воды смоделированная, г/м <sup>3</sup> (прогноз ЕСНАМА2)	9.53	0.64	8.73	13.6	4.68	8.92

Авторы выражает глубокую благодарность руководителю Отдела мониторинга поверхностных вод и экспедиционных исследований ФГБУ ГГИ д.г.н. Нелле Николаевне Бобровицкой за любезно предоставленные данные [3].

### Литература

1. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Детерминированно-стохастическое моделирование массопереноса в системе водосбор-водоем // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2018. – Т. 11. № 4. – С. 55–65.
2. Эдельштейн К. К. Лимнология: учеб. пособие для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт. 2018. 398 с.
3. Bobrovitskaya N.N., Kokorev A.V. Development of transboundary surface water monitoring system. XX111 Nordic Hydrological Conference, Tallinn, Estonia 8-12 August 2004, Selected articles / Editor: Arvo Jarvet, Vol.11, NHP Report No. 48, Tartu, p.415-423.

## **DETERMINED-STOCHASTIC MODELING SYSTEM OF THE WATER TURBIDITY IN THE RIVERS**

**Shmakova M.V.<sup>1</sup>, Kondratyev S.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> - *Institute of Limnology, St-Petersburg, Russia, m-shmakova@yandex.ru*

**Abstract.** Deterministic-stochastic modeling system “Weather – Runoff – Sediment” is developed. The system allows to estimate the parameters of the distribution of daily sediment flow and water turbidity.

Keywords: water turbidity, modeling, river flow, distribution parameters.