

N.M. Osadcha, D.O. Klebanov

Assessment biogenic elements flux from the catchment area of the Danube in the modern period (1989-2012). The main factors of its formation and ways of regulating

The quantitative estimation of nutrients emission from Danube catchment area to the Black sea was carried out for the period 1989-2012. Direct calculation based on the actual data and model approach using conceptual model MONERIS have

been used. The presence of a stable dependence between water flow and nitrogen and phosphorus loads was found. The role of the individual sub-basins within Ukrainian part of Danube basin concerning nitrogen and phosphorus emissions is shown. Recommendations on measures for mitigation of nutrients load are provided.

Keywords: nitrogen, phosphorus, nutrients discharge, water content, anthropogenic pollution, Danube.

УДК 556. 551. 3/.4; +556. 561. 3/.4; 628.1.03

В.В. Осипов, Н.Н. Осадчая

**ВЫБОР ИМИТАЦИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫНОСА СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА
И ФОСФОРА И ЕЕ АПРОБАЦИЯ
НА МАЛОМ РЕЧНОМ ВОДОСБОРЕ**

Выполнен обзор существующих моделей поступления и транспорта биогенных элементов с территории водосбора, а также проведена оценка опыта их применения в различных странах. Для использования в Украине предложена модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), являющаяся наиболее оптимальной для экономических, физико-географических условий страны, а также с точки зрения возможностей информационного обеспечения. Проведена апробация предложенной модели на малом водосборе р. Головесня. Представлены результаты калибровки модели SWAT для показателя водного стока.

Ключевые слова: эвтрофикация, азот, фосфор, моделирование, диффузионные источники, SWAT.

Вступление

Активное использование водных ресурсов в процессе функционирования человеческого общества приводит к ряду негативных экологических последствий, среди которых важную роль играет нарушение баланса организмов водной экосистемы за счет массового развития водорослей и высших водных растений, хорошо известное под термином эвтрофикация. Это явление приводит к ухудшению физических, физико-химических и органолептических свойств воды и ограничивает ее дальнейшее использование. Известно, что переход водных объектов в эвтрофное состояние может быть вызван как естественными, так и техногенными процессами, среди которых по скорости, интенсивности и пространственному охвату, безусловно, доминирующая роль принадлежит антропогенному фактору.

На начальном этапе борьба с повышенной продуктивностью водных объектов в основном

была направлена на следствие. Биомассу водорослей физически собирали и извлекали из водного объекта, либо обрабатывали пятна цветения химическими реагентами (медным купоросом, отдельными видами пестицидов, коагулянтами) с целью сдержать их развитие. Практическая реализация указанных мер показали их недостаточную эффективность и со временем основные усилия по борьбе с эвтрофикацией сосредоточились на предупреждении ее возникновения. Главной задачей было предотвратить возрастание или снизить поступление в водные объекты элементов, являющихся пусковым механизмом массового развития водорослей, а именно, соединений азота и фосфора. В англоязычной литературе эти элементы относятся к группе nutrients, т.е. кормных элементов, что прямо отражает их роль в водных экосистемах.

К основным факторам, обуславливающим поступление отмеченных биогенных элементов, относятся сброс сточных вод коммунальных,

промышленных и сельскохозяйственных предприятий; неконтролируемое использование удобрений с последующим смывом дождевыми и талыми водами, а также зарегулирование речного стока.

Разработка методов количественной оценки текущего состояния и прогнозирование стока соединений азота и фосфора, а также выяснение доминирующих источников их поступления является важной задачей управления эвтрофикацией водных объектов и снижения их загрязнения.

Актуальность этой задачи для Украины многократно повышается фактом подписания соглашения об ассоциации с ЕС и взятыми нашей страной обязательствами по внедрению основных законодательных актов ЕС в области водной политики (Водной рамочной директивы, директив по сточным водам городов, нитратной и др.).

Состояние вопроса

До настоящего времени вынос элементов с водосборной площади в Украине преимущественно оценивался расчетным путем. Не углубляясь во все сильные и слабые стороны этого метода, отметим, что его применение дает возможность получения оценок лишь *a posteriori*. Согласно действующему регламенту гидрохимических наблюдений, полученные данные генерируются в пределах квартала или года в целом и дают возможность лишь отразить уже сложившуюся картину загрязнения. А для разработки мер предупреждения эвтрофикации и принятия управленческих решений на первый план выходит необходимость прогноза.

Среди существующих подходов решения этой задачи отметим статистический, балансовый или использование физико-математической модели, адекватно описывающей процесс поступления в водный объект азота и фосфора.

Выбор методологии прогноза зависит от необходимой точности, заблаговременности, доминирующих путей и характера поступления исследуемых веществ.

На последнем остановимся более детально. По характеру поступления соединений азота и фосфора выделяют точечные и распределенные источники [1, 2]. К первым относятся места организованного сброса урбанизированных, промышленных или сельскохозяйственных вод. Количество загрязняющих веществ от таких источников имеет относительно стабильные показатели, равномерно распределено во времени и законодательно контролируется через

государственную статистическую отчетность 2ТП-Водхоз. Основной мерой воздействия на такие источники является повышения уровня очистки сточных вод и лимитирование объемов их сброса.

Неточечные источники, наоборот, весьма динамичны, изменения их характеристик нестационарны, наблюдаются через произвольные, перемежающиеся интервалы. Величина нагрузки от такого источника тесно связана с гидрометеорологическими условиями, в первую очередь, с осадками.

С ужесточением природоохранного законодательства и совершенствованием технологий производства и очистки сточных вод во многих развитых странах мира загрязнение от точечных источников стало отходить на второй план по сравнению с долей рассредоточенных источников. Так, исследования, проведенные в бассейне р. Дунай, показали, что 60 % общего выноса азота и 44 % фосфора смывается с поверхности водосбора [3].

Загрязнение от неточечных источников (диффузное загрязнение) водных объектов во многом определяется функционированием водосборов как гидрологических систем, обеспечивающих основные пути перемещения веществ [4, 5]. Для анализа и прогнозирования поведения таких систем, главенствующие позиции завоевало математическое моделирование, позволяющее решать диагностические, прогнозные задачи, проводить оценки возможных изменений под влиянием климатических изменений и деятельности человека.

Цель работы – на основании обзора имеющихся на сегодняшний день моделей поступления и транспорта биогенных элементов, соединений азота и фосфора, а также оценки опыта их применения в разных странах **предложить наиболее оптимальную модель** для экономических, физико-географических условий Украины, а также ее информационных возможностей, и провести апробацию предложенной модели на отдельном малом водосборе.

Современные технологии прогнозирования выноса элементов с водосборной территории

На сегодняшний день существует множество моделей для контроля качества водных ресурсов. По данным авторов [6, 7] уже в 2005 г. количество существенно различающихся моделей, нашедших свое применение на разных континентах, превысило 7 десятков.

По типу описания процесса, имеющиеся модели классифицируются на концептуальные

(статистические, эмпирические), описывающие только наиболее значимые связи [8], и физические, основанные на достаточно полных физических, химических и биологических представлениях [9]. Первоначально практика моделирования основывалась на моделях с сосредоточенными параметрами (0 мерных) с последующим переходом к одномерным (1D), двумерным (2D), трехмерным (3D) моделям [10].

По типу моделируемого объекта различают модели, описывающие гидрологические процессы на поверхности водосбора (watershed), или модели, сфокусированные главным образом на процессах, протекающих в водном объекте (receiving water models) [6].

Среди других характеристик важно отметить временное разрешение (от года до минут), площадь охвата (от поля до системы водосборов), элементы, поступление которых моделируется, и др. [6].

Существуют также комплексные модели, представляющие связанную систему из нескольких отдельных моделей. Например, BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) – разработка агентства по защите окружающей среды США, включает 7 моделей: HSPF, AQUATOX, Pollutant Loading Estimator, SWAT, SWMM, WASP, GWLF [11].

Как правило, чем сложнее модель, т.е. имеет детальную физическую основу с большим количеством описываемых процессов, значительным числом пространственных измерений, тем больший объем исходных данных и ресурсов (временных, финансовых, профессиональных) потребуется для её работы. Соответственно, выбор самой сложной и комплексной программы не всегда оказывается эффективным для решения проблемы в конкретных условиях.

Для решения поставленной задачи необходимо определить перечень параметров, которые необходимо получить на выходе, проанализировать характеристики объекта исследования, доступные исходные данные, оценить ресурсы и на основе этого сформулировать критерии для отбора модели.

Обоснование выбора модели

В качестве основного объекта апробации модели был выбран водосбор р. Головесня, правой притоки р. Десна, представляющий собой неурбанизированную территорию площадью 30,37 км². На территории бассейна расположены посты наблюдения Придеснянской водобалансовой станции (ВБС), располагающей многолетним архивом ежедневных данных об осадках,

температурных характеристиках воздуха, воды и почвы, влажности, скорости ветра, облачности, а также ежеквартальных величинах солнечной радиации, сведениями по использованию земель.

Критериальной базой для выбора оптимального алгоритма оценки смыва азота и фосфора служили:

- пространственный охват - водосбор;
- временной интервал – как минимум 1 день;
- описание гидрологических процессов на водосборе – поверхностный и подповерхностный сток;
- описание процессов перераспределения соединений азота и фосфора в системе «твердая фаза – вода». В этом случае для выбора модели играют роль следующие параметры: транспорт биогенных элементов, оценка ежедневной суммарной нагрузки по азоту и фосфору и общей концентрации в воде, концентрация нитратных, аммонийных, фосфатных ионов;
- возможность варьировать показателями землепользования и сельскохозяйственной практикой (применение удобрений, полив, сроки посева, уборки и т.п.).

Перечисленным требованиям удовлетворяли следующие программы [6, 12, 13, 14]: индивидуальные – AnnAGNPS, HSPF, INCA, SHETRAN, SWAT, WAM (ранее WAMView) и системные – BASINS (включает SWAT), MIKE SHE, TOOLBOX (включает WAM), WMS.

Для оценки необходимых профессиональных, трудовых и финансовых ресурсов по имплементации указанных моделей провели сравнение по следующим параметрам: наличие опыта работы, затраты времени на апробацию, объем исходных данных, возможность технической поддержки, стоимость [6, 13, 15] (табл. 1).

Учитывая отсутствие апробации данных моделей на территории постсоветских стран, т.е. низкий профессиональный потенциал, отсутствие в Украине достаточных финансовых ресурсов и средний набор исходных данных (отсутствуют или недостаточны данные о физических и химических параметрах, измеренных непосредственно на территории водосбора), для последующего анализа были выбраны модели AnnAGNPS, INCA, SWAT.

Модель AnnAGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) не описывает грунтовый сток [13], что является существенным недостатком, поскольку для рек Украины грунтовая составляющая весьма существенна.

Таблица 1
Сравнительная характеристика тестируемых моделей

Название модели	Опыт	Затраты времени на апробацию	Объем исходных данных	Возможность технической поддержки	Стоимость
AnnAGNPS	○	●	●	●	●
BASINS	○	○	○	●	●
HSPF	-	-	○	●	●
INCA	○	●	●	●	●
MIKE SHE	-	-	○	●	(>3000\$)
SHETRAN	-	-	○	●	●
SWAT	○	●	●	●	●
TOOLBOX	○	○	○	●	●
WAM	○	-	○	●	●
WMS	-	○	○	●	(5600\$)

Опыт:

- значительный объем обучения или опыт в моделировании (как правило, необходим профессиональный опыт со сложными водосборными или/и гидродинамическими моделями)
- умеренный объем обучения (предполагается некоторый опыт с базовыми моделями качества воды)

Затраты времени на освоение:

- очень высокие
- высокие
- средние

Объем исходных данных:

- высокий
- средний

Возможность технической поддержки:

- средняя
- высокая

Стоимость:

- значительная
- бесплатная с ограниченным доступом (по запросу, регистрация и т.п.)
- бесплатная в публичном доступе

Модель INCA (Integrated Catchment Model) среди форм азота описывает лишь наиболее важные, $N-NH_4^+$ и $N-NO_3^-$ [14], а ее пространственное разрешение 1 пиксель = $1 км^2$ недостаточно для малых водосборов [16].

Исходя из приведенных аргументов, выбор был остановлен на модели SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

Эта модель разработана Джефом Арнольдом для Службы сельскохозяйственных исследований (ARS) министерства сельского хозяйства США (USDA) и активно поддерживается на федеральном уровне. SWAT имеет физическую основу, является одновременно моделью водосбора и водоприемника (река, озеро), хотя процессы гидродинамики существенно упрощены. SWAT, в первую очередь, ориентирована на аграрные регионы, а процессы на урбанизированной территории представлены в схематичном варианте. Неоспоримым преимуществом модели является наличие обширных возможностей для подбора различных видов сельскохозяйственных культур

и растительного покрова, практик земледелия (применение органических и неорганических удобрений, полив, пахота и т.п.) [17].

Дополнительными преимуществами модели SWAT по сравнению с другими моделями являются:

- обширная и качественная документация (теоретическая часть и исходные/конечные данные);
- отсутствие ограничений по площади водосбора – применима как для малых ($< 1 км^2$), так и очень больших водосборов;
- совместимость с современными ГИС пакетами (ArcGIS и бесплатная MapWindow GIS);
- наличие внешней программы автокалибровки SWAT-CUP, также находящейся в публичном доступе;
- входит в состав системной модели BASINS, что позволяет использовать SWAT в комплексе с другими программами для решения более широкого круга проблем.

Благодаря всем вышеуказанным характеристикам, а также хорошему балансу между входной информацией и получаемым результатом, SWAT прочно удерживает первое место в мире по частоте использования для моделирования биогенного загрязнения. Как показал анализ публикаций за период 1992-2010 гг. [16], модель SWAT использовалась в 46 % случаев, INCA – 12 %, AnnAGNPS – 9 %, HSPF – 8 %, остальные 37 моделей – 25 %.

Результаты и их обсуждение

Для пространственной реализации модели собраны следующие материалы: цифровая модель рельефа бассейна р. Головесня, подготовлена по данным SRTM; оцифрованная карта типов почв, векторная полигональная карта землепользования по данным снимков высокого разрешения Google Earth, физические характеристики почв.

Как известно, массоперенос веществ в пределах водосбора зависит от характеристик основного носителя – водного стока. В связи с этим, первоочередной задачей по имплементации модели SWAT было получение гидрографа стока и калибровка результатов по данным наблюдений Придеснянской ВБС на водосборе р. Головесня. В качестве тестового выбран 2010 год. Гидрограф стока, полученный с помощью модели SWAT, представлен на рис. 1.

Эффективность моделирования гидрографа стока оценивали на основании критерия Нэша-Сатклифа. Его величина для расчетного года составила 0,6, что превышает границу удовлетворительного соответствия (0,5), но было ниже грани-

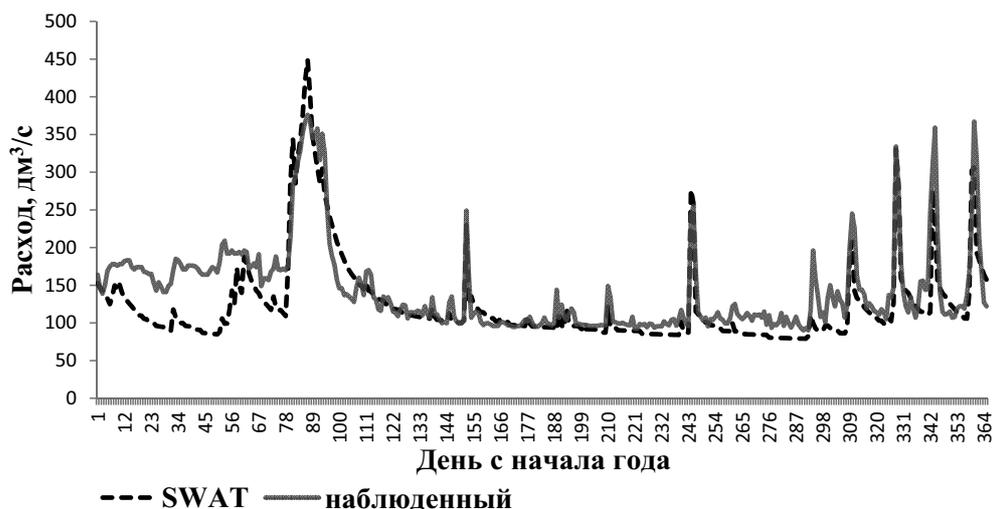


Рис. 1. Гидрограф стока р. Головесня, полученный инструментом SWAT, и данные наблюдений Придеснянской ВБС за 2010 г.

цы хорошего (0,85) [18]. Основным недостатком данного критерия является его малая чувствительность к систематическому занижению или завышению стока. Особенно это касается минимального стока. Значение коэффициента парной корреляции составило 0,85, что свидетельствует о существенной связи между реальными и смоделированными значениями расходов воды.

Среднее отклонение смоделированных расходов воды от наблюдаемых значений составило 11,9 %, что, в целом, незначительно превысило допустимый показатель вариабельности в 10 %. Из рис. 1 следует, что основной причиной недостаточной точности является период зимней межени, когда значения расходов, рассчитанных моделью, занижены в среднем на 30 %.

Алгоритм моделирования общего стока в SWAT включает три составляющих, зависящих от условий стекания воды: поверхностный сток, подповерхностный (латеральный) и подземный. Также учитываются процессы, связанные с эвапотранспирацией.

Величина поверхностного стока определяется по эмпирической зависимости между стоком и осадками, полученной на водосборах США:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)}, \quad (1)$$

где Q_{surf} – поверхностный сток (мм); R_{day} – осадки за день (мм); S – параметр удерживания (мм), который определяется по формуле:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right), \quad (2)$$

где CN – номер зависимости (curve number) осадки - поверхностный сток в данный день. Пара-

метр удерживания является непостоянным ввиду изменения содержания воды в почве, а также варьирует при изменении типа почвы, характера землепользования, уклона. Для улучшения результатов моделирования эмпирическая зависимость осадки - сток должна быть адаптирована для условий Украины.

Имитация грунтового стока в SWAT основана на кинематической модели неразрывности потока [19]. Моделирование стока реализуется в двух направлениях: в поперечном сечении вниз по склону и в горизонтальном к ближайшему дренируемому рекой водоносному горизонту. Для описания хода данного процесса используется функция экспоненциального затухания [20].

Пополнение грунтовых вод рассчитывается по формуле:

$$w_{rchrg,i} = (1 - \exp[-1/\delta_{gw}]) \cdot w_{perc} + \exp[-1/\delta_{gw}] \cdot w_{rchrg,i-1} \quad (3)$$

где $w_{rchrg,i}$ – количество воды, поступившей в водоносный слой за день i (мм), δ_{gw} – время задержки или время дренирования верхних геологических пород (дни), w_{perc} – количество воды, просочившейся с нижнего слоя почвенного профиля за день i (мм), $w_{rchrg,i-1}$ – количество воды, поступившей в водоносный слой за день $i-1$ (мм).

Также оценивается количество воды, поступившее в более глубокие горизонты, не участвующие в питании реки.

Для имитации процесса снеготаяния в SWAT варьировали такими параметрами как температура, при которой осадки выпадают в виде снега, температура начала таяния снега, скорость таяния, фактор запаздывания таяния снежного

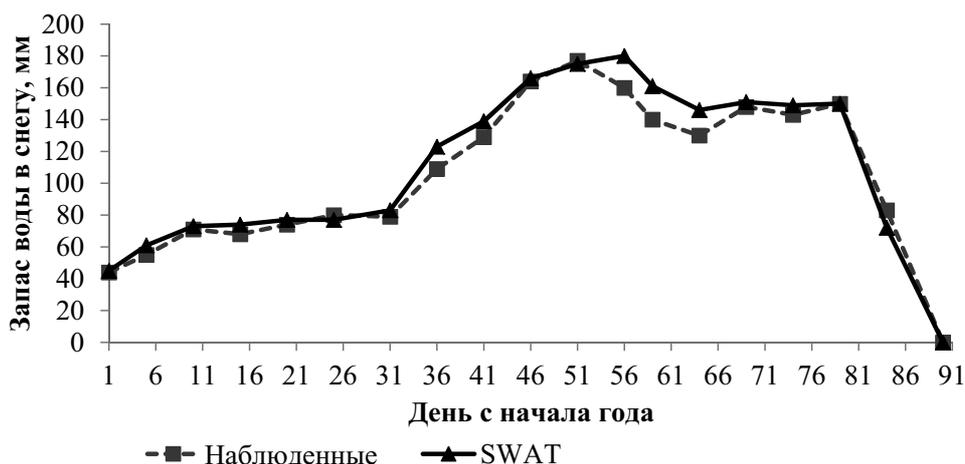


Рис. 2. Сравнительный анализ смоделированных и наблюдаемых запасов воды в снегу

покрова. В результате ручной калибровки по вышеуказанным параметрам провели сравнение запасов воды в снегу, полученных путем моделирования, с данными наблюдений. Оказалось, модель достоверно описывает количество влагозапасов в снегу, критерий Нэша-Стаклифа при этом достигает 0,96 (рис. 2).

Очевидно, для повышения точности моделирования процесса формирования стока, в т. ч. и в период снеготаяния, в первую очередь, необходима автокалибровка модели по фильтрационным параметрам (CN, коэффициент фильтрации почвы, диапазон активной влаги почв, δ_{gw} и др.).

Инструментом для автоматической калибровки является внешняя программа SWAT-CUP. Анализ результатов, полученных с помощью данного ресурса, будет следующим этапом нашего исследования.

Выводы

В настоящее время для оценки поступлений биогенных веществ за счет распределенных источников получили практическое подтверждение такие программные комплексы: AnnAGNPS, HSPF, INCA, SHETRAN, SWAT, WAM (ранее WAMView), BASINS, MIKE SHE, TOOLBOX, WMS.

На основании анализа чувствительности указанных моделей к входным данным, требованиям к профессиональным навыкам пользователей, финансовых и временных характеристик оптимальной для Украины представляется почвенно-гидрологическая модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), прочно удерживающая в мире первое место по частоте использования для моделирования биогенного загрязнения.

Адаптация программы SWAT для территории Украины была проведена на примере малого

($S= 30,37 \text{ км}^2$) водосбора р. Головесня, правой притоки р. Десны. Входной информацией для калибровки модели служили материалы наблюдений Придеснянской водобалансовой станции за 2010 г.

На первом этапе работы в результате ручной калибровки модели получен гидрограф стока р. Головесня. Значение коэффициента парной корреляции между реальными и смоделированными значениями расходов воды составило 0,85, что свидетельствует о существенной связи между указанными параметрами. В то же время эффективность выполненного расчета, оцененная по критерию Нэша-Сатклифа, составила 0,6. Это превышает границу удовлетворительного соответствия (0,5), но ниже границы хорошего. Наибольшее отклонение расчетных значений от реальных данных наблюдается в период зимней межени, когда значения расходов, рассчитанных моделью, занижены в среднем на 30 %.

Первые полученные результаты свидетельствуют о приемлемости модели SWAT для территории Украины. Для улучшения эффективности моделирования гидрографа стока предлагается дополнительно задействовать внешний инструмент автокалибровки SWAT-CUP, что станет предметом наших дальнейших исследований.

* *

1. Novotny V. Diffuse (non-point) pollution – a political, institutional and fiscal problem // J. Water Pollut. Contr. Fed. – 1988. – Vol. 60, № 8. – P. 1404-1413.
2. Novotny V., Chesters G. Handbook of non-point pollution. – New York, NY: Van Nostrand Reinhold Co., 1981. – 545 p.
3. Environmental Programme for the Danube River Basin, Danube Integrated Environmental Study. Report Phase 1. Commission of the European Communities. – 1994, Jan.
4. Black P.E. Watershed functions // J. Amer. Water

- Resources Association. – 1997. – Vol. 33, № 1. – P. 1-11.
5. Ханкс Р. Дж. Моделирование баланса почвенных вод // Гидрогеологическое прогнозирование / Под ред. М.Г. Андерсона и Т.П. Берта. – М.: Мир, 1988. – С. 27-53.
 6. Total Maximum Daily Loads Model Evaluation and Research Needs// United States Environmental Protection Agency. – 600/R-05/149. – 2005, Nov.
 7. Arheimer B., Olsson J. Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe// Swedish Meteorological and Hydrological Institute. – 2001.
 8. Sloan W.T., Jenkins A. and Eatherall A. A simple model of stream nitrate concentrations in forested and deforested catchments in Mid-Wales // Journal of Hydrology. – 1994. – 158:61-78.
 9. Heng H.H., Nikolaidis N.P. Modeling of Nonpoint Source Pollution of Nitrogen at the Watershed Scale // Journal of the American Water Resources Association. – 1998. – 2: 359-374.
 10. Zhen-Gang Ji. Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries. – Canada: Wiley-Interscience. – 2008. – 675 p. – P. 38-48.
 11. Официальный сайт Агентства по защите окружающей среды США (EPA) [электронный ресурс]. <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/basins/framework.cfm>.
 12. Vanderkruk K., Owen K., Grace M., Thompson R. Review of Existing Nutrient, Suspended and Metal Models. Scientific review for Victorian Department of Sustainability and Environment. Australia. – 2010.
 13. Srivastava P., Migliaccio K. W., Šimůnek J. Landscape Models for Simulating Water Quality at Point, Field, and Watershed Scales // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2007. – Vol. 50(5): 1683-1693.
 14. Exbrayat J.-F., Breuer L., Viney N.R., Seibert J., Wrede S., Frede H.-G. Ensemble Predictions of Hydrobiogeochemical Fluxes at the Landscape Scale. 18th World IMACS/MODSIM Congress. Cairns. Australia. – 13-17 July 2009.
 15. Официальный сайт INCA [электронный ресурс]. <http://www.reading.ac.uk/geographyandenvironmentalscience/Research/INCA/ges-INCA.aspx>.
 16. Wellen C., Kamran-Disfani A.-R., Arhonditsis G.B. Evaluation of the Current State of Distributed Watershed Nutrient Water Quality Modeling // Environ. Sci. Technol. – 2015 – 49:32780-3290.
 17. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2012. Texas Water Resources Institute. – 2012.
 18. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2007. – Vol. 50(3):885-900.
 19. Sloan P.G., Moore I.D. Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds // Water Resources Research. – 1984. – 20(12):1815-1822.
 20. Sangrey D.A., Harrop-Williams K.O., Klaiber J.A. Predicting ground-water response to precipitation // ASCE J. Geotech. Eng. – 1984. – 110(7): 957-975.
- Український гідрометеорологічний інститут, Київ
- В.В. Осипов, Н.М. Осадча**
- Вибір імітаційної комп'ютерної моделі для аналізу вносу сполук азоту й фосфору та її апробація на малому річковому водозборі**
- Виконано огляд існуючих моделей надходження і транспортування біогенних елементів з території водозбору, а також проведено оцінку досвіду їхнього застосування в різних країнах. Для використання в Україні запропоновано модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), яка є найоптимальнішою для економічних, фізико-географічних умов країни, а також з огляду можливостей інформаційного забезпечення. Проведено апробацію цієї моделі на малому водозборі р. Головесня. Представлено результати калібрування моделі SWAT для показника водного стоку.*
- Ключові слова:** евтрофікація, азот, фосфор, моделювання, дифузні джерела, SWAT.
- V.V. Osipov, N.M. Osadcha**
- Choosing a computer simulation model to analyze the nitrogen and phosphorus emission and its testing on a small river catchment**
- A review of existing models of nutrients inflow and transport has been carried out, as well as experience of their use in different countries was estimated. The model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) was proposed for use in Ukraine. This model is optimal for economic, physical and geographical conditions of the country, and from the point of view of the possibilities of information support. Proposed model was approbated for such small river catchment as the Golovesnya. The results of the SWAT calibration are presented for water runoff.*
- Keywords:** eutrophication, nitrogen, phosphorus, simulation, diffuse sources, SWAT.