УДК 574.5:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.А. Перфильев, Г.А. Фоменко, К.А. Лошадкин, Э.А. Гоге

Научный руководитель – Г.А. Фоменко, д-р геогр. наук, профессор, академик РАЕН

Ярославский государственный технический университет

Моделирование природных процессов с использованием современных программных комплексов уже давно стало эффективным инструментом в решении насущных проблем природопользования. Одним из важных направлений является гидроэкологическое моделирование, основанное на интеграции водных объектов с водосбором и присущей ему подстилающей поверхностью, то есть создание модели единой гидроэкосистемы.

Ключевые слова: *моделирование, SWAT, гидроэкология, гидрологические расчетные единицы, экосистемы*

MODELING OF HYDROLOGICAL PROCESSES TO SOLVE ENVIRONMENTAL PROBLEMS AT INSUFFICIENCY DATA OBSERVATIONS

A.A. Perfilyev, G.A. Fomenko, K.A. Loshadkin, E.A. Goge

Scientific Supervisor – G.A. Fomenko, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of RANS

Yaroslavl State Technical University

Simulation of natural processes with the use of modern software complexes has long been an effective tool in solving pressing problems of nature management. One of the important areas is hydroecological modeling, based on the integration of water bodies with the catchment area and its inherent surface, that is, the creation of a model of a single hydroecosystem.

Keywords: *simulation, SWAT, hydroecology, hydrologic response unit, ecosystems*

Недостаточный учет антропогенных воздействий и непонимание протекающих процессов в пределах речных бассейнов приводит к загрязнению водоемов, заилению русел рек, обрушению берегов, ускоренной эвтрофикации, ослаблению и ухудшению состояния экосистем. Все это создает угрозу как существованию живых организмов в пределах нарушенных экосистем, так и жизни и здоровью местного населения [1].

Для решения этих проблем на сегодняшний день разработано множество научно-обоснованных аналитических инструментов как зарубежных, так и российских ученых-исследователей, представляющих собой программные комплексы, способные описывать и моделировать некоторые экосистемные параметры и процессы. Особое место в этой сфере занимают гидрологические модели, ориентированные на решения задач экологически устойчивого использования водных ресурсов и бассейновых территорий на основе экосистемного подхода, среди которых наиболее известной является «Soil and Water Assessment Tool» (SWAT). Основная причина ее популярности заключается в наличии открытого кода и развитое информационное обеспечение в виде технической поддержки, программ калибровки и большого количества Интернет-ресурсов.

Практическая востребованность SWAT обусловлена, в первую очередь, комплексным характером воздействий управленческих решений в сфере водопользования на окружающую природную среду, требующих пространственно-временного анализа множества биогенных и абиогенных факторов бассейновых территорий, что может быть реализовано лишь на основе современных ГИС-технологий, особенно в условиях недостаточности проведенных наблюдений за показателями водотоков и состоянием бассейна в целом.

SWAT была разработана в США как физическая модель исследуемого водосбора с целью прогноза воздействия управленческих решений на водные ресурсы, наносы, содержание питательных веществ и пестицидов с достаточной точностью на больших речных бассейнах в условиях недостаточности данных гидрологических наблюдений (Arnold and others, 1993) [2].Этот инструмент объединил в себе важные физические и полуэмпирические элементы и может работать с минимум специализированных исходных данных о климате, характеристиках почвы, топографии местности, растительности и типах землеустройства и землепользования в пределах анализируемого водосбора [3]. Анализируемыми территориальными единицами являются речные бассейны, суббассейны и гидрологические расчетные единицы, представляющие собой стокоформирующие комплексы, которые формируются SWAT путем взаимного наложения элементов рельефа, типов почв и землепользования и характеризуются внутренней однородностью (рис. 1).

Точность результатов и аналитические возможности модели повышаются по мере расширения и оптимизации используемых исходных данных (от гидрологических характеристик водотоков и состава почв до типов водопользования, землепользования и локальных источников загрязнения в пределах рассматриваемого бассейна) на основе анализа выходных данных — прогнозной имитационной модели речного бассейна (с возможностью внесения дополнительных данных и корректировки исходных данных) и расчетных и спрогнозированных параметров по бассейну, суббассейнам и гидрологическим расчетным единицам (рис. 2).

Рис. 1. Анализируемые SWAT территориальные единицы

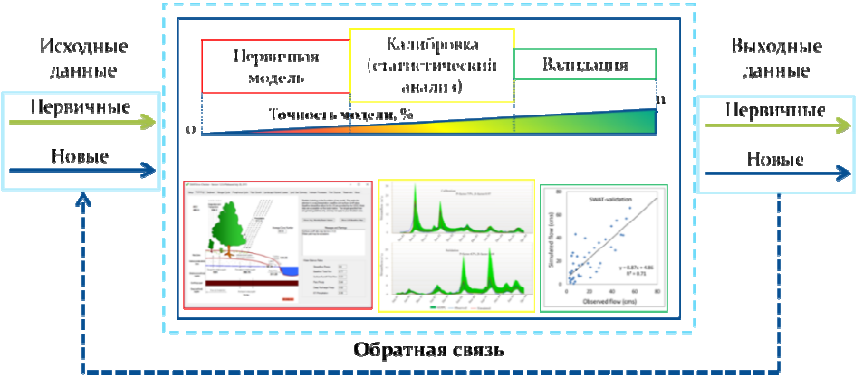

Рис. 2. Процесс моделирования SWAT

Ярославская область богата водными ресурсами и подобные исследования имеют важное практическое значение для успешного решения задач природообустройства и водопользования на устойчивой основе в пределах любых бассейновых территорий региона. В целях гармонизации модели к отечественным стандартам и изучения состояния бассейна р. Которосль Ярославской области, было выполнено пробное моделирование и проанализированы полученные результаты. На начальном этапе проведен запуск модели с использованием базовых исходных данных

(рис. 3): цифровая модель рельефа (ЦМР) с разрешением 30 м; характеристики землепользования Ярославской области; пространственное распределение почв бассейна р. Которосль с их подробными физическими характеристиками; метеорологические параметры (осадки, температура, солнечная радиация, относительная влажность воздуха, скорость ветра).

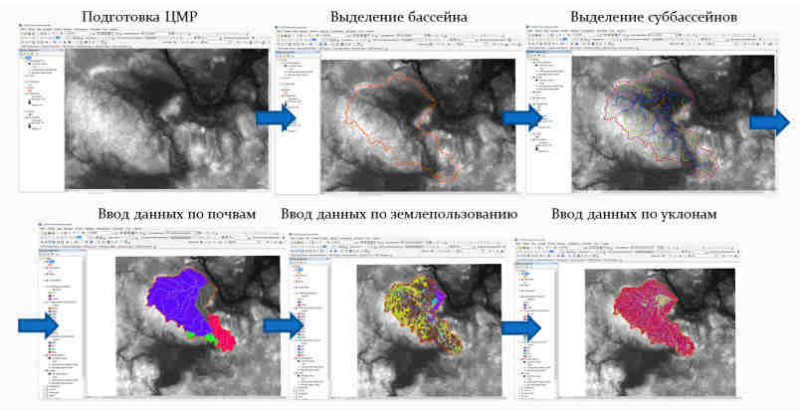

Рис. 3. Процесс выделения бассейновых единиц р. Которосль и запись в модель необходимых пространственных исходных данных с помощью ArcSWAT

Моделирование выполнялось на 5-летний период с обязательным периодом «разминки», равным одному году, который необходим для короткого временного ряда. Запуск SWAT-модели с использованием базовых исходных данных для выбранной части бассейна р. Которосль в целом показал работоспособность модели исходя из полученных значений поверхностного стока.

Для улучшения точности работы модели по части гидрологических значений необходимы данные полевых исследований, включающие в себя посуточные исследования водных потоков, исследования физического и химического состава почв, метеорологические данные наблюдений. Однако, как показывает отечественный опыт применения SWAT, основные трудности использовании модели в России связаны с неактуальностью или закрытостью большинства необходимых информационных ресурсов – цифровых пространственных покрытий почв и растительности, гидрофизических характеристик почвенного покрова, некоторых данных гидрометеорологического мониторинга [4].

Таким образом, в отношении перспектив применения SWAT в России можно отметить следующее: (1) в условиях дефицита исходных данных на-

блюдений о гидрологических характеристиках водотоков и бассейнов региона, времени и средств на сбор таких данных, SWAT является эффективным инструментом моделирования гидрологических и экосистемных процессов по имеющимся минимальным данным, выявления на этой основе проблем природопользования исследуемых территорий и анализа возможных путей их решения; (2) модель SWAT находится в открытом доступе в сети интернет и представляет собой как отдельную платформу, так и пакет расширения для ArcGIS, QGIS, и других ГИС-программ (http://swat.tamu.edu/), что существенного облегчает ее использование, в том числе в учебных целях вузами и специализированными организациями; (3) информационная гибкость SWAT в отношении полноты и точности исходных данных, что было подтверждено результатами работ в Ярославской области, имеет важное практическое значение для исследований речных бассейнов с различной степенью полноты и качества исходных данных, поскольку позволяет эффективнее планировать ограниченные финансовые ресурсы под конкретные цели моделирования и необходимую точность ожидаемых результатов; (4) требования к базам исходных данных и формат выходных данных SWAT соответствует международным стандартам в этой сфере, что облегчает технически доступ к международным базам данных, технологиям расчета и моделирования, но требует постепенной перестройки уже существующей в России системы сбора исходной информации под эти стандарты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ecosystems and Human Wellbeing: a Framework for Assessment / Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, 2005.

2. *Neitsch S.L.* Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, version 2009 / S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams // Texas A&M University. USA: College Station, 2011. 618 p.

3. Документ ВМО-0168. Руководство по гидрологической практике. Том 2. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. 6-е изд. // Всемирная Метеорологическая Организация. 2012. 324 с.

4. Разработка региональной гидрологической модели / А.Н. Бугаец, Б.И. Гарцман, О.В. Соколов и др.// Материалы VII Экологического международного форума «Природа без границ 2013» (Владивосток, 10-11 октября, 2013).