

МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ “SWAT” МОДЕЛИ

Токторалиев З.Б.

НАН КР, Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева

E-mail: t.zairbek@mail.ru

В статье рассматривается краткая история разработки симулятора возможных состояний бассейновой системы - SWAT. Проанализированы некоторые возможности в области прогнозного моделирования данной моделью, приводятся примеры реализации модели в Южном регионе Кыргызстана.

Изучение геоэкологических ситуаций продолжает оставаться одной из актуальнейших проблем современной геоэкологии (енвайроменталистики). Особая роль при этом, отводится современным геоинформационным технологиям. Задача прогнозного моделирования геоэкологических ситуаций требует разработки и внедрения новых интегрированных систем динамического моделирования. Наиболее разработанной и апробированной в настоящее время системой комплексного прогнозного моделирования является симулятор возможных состояний бассейновой системы - SWAT(Soil Water Assessment Tool). [1]. SWAT - иммитационная почвенно-гидрологическая оценочная масштабируемая модель бассейна (группы суббассейнов) реки. Она была разработана для определения и оценки влияния хозяйственной деятельности человека на большие и сложные бассейновые структуры, на состояние водных ресурсов. Данная модель разрабатывалась на протяжении более чем тридцати лет Службой сельскохозяйственных исследований (ARS - Agricultural Research Service) Департамента сельского хозяйства США (USDA) [1]. В настоящее время SWAT-модель получила признание во всем мире как наиболее эффективный и научно-обоснованный инструмент описания, прогноза

и оценки состояния почвенной и гидрологической составляющей в состоянии современных ландшафтных бассейновых систем. Этот факт нашел свое отражение в десятках публикаций в наиболее рейтинговых научных изданиях, сотнях конференций, более 300 статей в американских и европейских журналах.

Исторически SWAT базируется на более ранних моделях, разработанных USDA-ARS (Служба сельскохозяйственных исследований Департамента сельского хозяйства США).

Модель SWAT является прямым потомком модели SWRRB - симулятора состояния водных ресурсов в районах сельскохозяйственного использования (SWRRB - Simulator for Water Resources in Rural Basins) [7]. Разработка симулятора состояния водных ресурсов началась еще в 80-х годах прошлого века, с модификации модели CREAMS, и, в частности, одного из его сегментов - симулятора осадков и ежедневного стока. Значительной трансформации подверглись подмодели и сегменты модели GLEAMS, рассчитывающие и симулирующие поверхностный сток. При этом площадь охвата увеличилась от одного до десятка и более бассейнов. Был разработан модуль расчет суммарного стока на выходе бассейна. Другие улучшения коснулись модулей расчета скоростей стока, расчета его пиковых значений, усовершенствованы модули расчета подземного стока, динамики уровня воды в водохранилищах [8]. В модели EPIC были трансформированы расчетные модули роста сельскохозяйственных культур, переноса и осаждения взвешенных частиц, генератор погодных условий. Интеграция в модели SWRRB отдельных модулей из трех исходных моделей позволил создать совершенно новый инструмент динамического и прогнозного моделирования состояния и оценки качества водного компонента в бассейновых ландшафтных комплексах и решения широкого круга экологических проблем, связанных с сельскохозяйственным производством. SWAT модель включила в себя все самые ценные свойства предыдущих моделей и особенно имитационные и симулирующие алгоритмы модели SWRRB. Это сделало ее исключительно мощным инструментом расчета и прогноза состояний водного компонента в ландшафте. Начиная с 1995 года и до настоящего времени, SWAT-модель постоянно улучшается и пополняется новыми модулями. Информацию и техническую документацию обо всех модификациях модели можно найти на сайте Техасского научного центра [USDA Agricultural Research Service \(USDA-ARS\)](http://www.usda.gov/ars) and [Texas A&M AgriLife Research](http://www.tamu.edu). Собственно компьютерную программу модели можно бесплатно получить на официальном сайте SWAT (<http://swat.tamu.edu/>). Общий обзор модели. Что же такое SWAT модель? Прежде всего, это имитационная модель, симулирующая значения выходных параметров в зависимости от заданных на входе переменных, характеризующих различные воздействия на почвенно-гидрологическую систему в рамках модельных бассейнов или суббассейнов. Это постоянно работающая модель с временным интервалом осреднения равным 24 часам (сутки). Она физически обоснована, эффективна и оптимальна с точки зрения математики и компьютерных технологий, опирается на существующие распространенные типы ГИС-технологий, в частности, полностью совместима с ArcGIS, технологически ориентирована на постоянную работу в длительном режиме моделирования и симуляции ситуаций на длительные прогнозные сроки. Данная модель может использоваться для решения целого ряда задач: прогнозирования последствий антропогенного воздействия сельскохозяйственного производства на гидрологический и почвенный компоненты ландшафта, на донные отложения, на миграцию пестицидов и продуктов их распада, на урожайность сельскохозяйственных культур, геохимический фон исследуемого региона. К основным компонентам модели SWAT относятся следующие характеристики: метеорологические и климатические параметры, гидрологические характеристики бассейнов, температурные и другие физические и химические характеристики почвенного покрова, параметры роста растений и урожайности, параметры наличия питательных веществ в почвах, пестицидов, бактерий и болезнетворных микроорганизмов, характеристика землепользования района. Модель SWAT делит модельную территорию на бассейны и на более мелкие суббассейны, а те в свою очередь на элементарные операционные единицы называемые в данной модели гидрологически реагируемые единицы (HRUs hydrologic response units) Элементарные гидрологические единицы (HRUs) характеризуются внутренней однородностью почвенного покрова, элементов рельефа, типа землепользования или растительного покрова. В первом приближении они соответствуют ландшафтным фациям или простым урочищам в рамках ландшафтной бассейновой структуры. Климатические данные необходимые для запуска модели включают в себя суточные значения осадков, влажности, средняя, максимальная и минимальная температуры, скорости и направления ветра, значения солнечной радиации и др. В Европе и Соединенных Штатах Америки данные в модель заводятся ежедневно, непосредственно с работающих гидрометеорологических станций, постов наблюдений и материалов дистанционного зондирования Земли. В Кыргызстане и в южном регионе данные возможно заводить с некоторым опозданием из получаемых баз данных. В случаях, когда имеются данные об эвапотранспирации, загрузка данных о влажности воздуха не требуется. Средняя температура воздуха используется в случаях когда симулируется выпадение осадков в виде снега. Максимальные и минимальные температуры используются в расчетах температуры почвенного покрова и вод. Входные климатические данные могут генерироваться на основании расчета таблицы состоящей из 13 ежемесячных климатических переменных, которые вытекают из долгосрочных измерений параметров погоды. Специфические варианты ввода климатических данных включают: предварительное выделение высотных уровней для расчета орографических осадков или таяния снега, предварительную корректировку климатических данных на входе для моделирования изменения климата и прогнозирование его последствий, и предварительное прогнозирование будущих погодных условий, которые будут использоваться в качестве входных значений, для прогноза ситуаций. Общий гидрологический баланс рассчитывается для каждой элементарной гидрологической единицы HRUs. Рассчитываются и моделируются области перехвата осадков и стока талых вод, области инфильтрации на орошаемых территориях, перераспределение воды в почвенных го-

ризонтах, испарение, латеральный поток грунтовых вод в почвенных горизонтах и обратный поток из мелких водоносных горизонтов. Оценивается ареал покрытия снегом, температуры и интенсивность таяния снега. Для гидрологического прогноза используются классические проверенные временем методики расчета принятые в Соединенных Штатах Америки и Европе. Технологии маршрутизации потоков используются для расчета перераспределения стока, как в плане, так и в разрезе почвенных горизонтов. В SWAT модели имеется опция расчета верховодки, что важно в районах близкого залегания грунтовых вод например в речном бассейне Карадарья. Модель позволяет осуществлять расчет урожайности и биопродуктивности сельскохозяйственных и естественных угодий в зависимости от уровней загрязнения окружающей среды. Расчет осуществляется для различных операционных единиц: севообороты, типы угодий, естественные лесонасаждения и так далее. Но во всех этих случаях в основе расчетов лежат гидрологические единицы HRUs. Заложенные в модели расчетные алгоритмы позволяют моделировать биопродуктивность сельскохозяйственных угодий и лесов рис. 1) на различных фазах их развития от саженцев до зрелого состояния. Посадка, сбор урожая, обработка почвы, внесение питательных веществ в почву и применение пестицидов может быть смоделировано для каждой системы земледелия с конкретной или прогнозируемой даты начала сева. Имеется возможность расчета количества поступления навоза в результате выпаса скота.

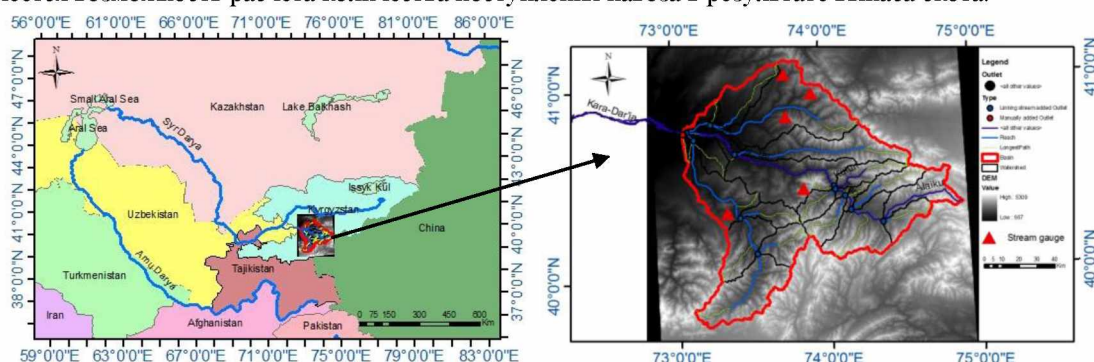


Рис. 1. Прогнозная Модель продукции биомассы на территории речного бассейна Карадарья на 2013

Последствия выбранной практики использования и охраны водных и почвенных ресурсов моделируются в SWAT путем учета типа землепользования, агротехнологий, контурности земледелия, лесозащитных насаждений, наличия дренажных систем. Особое место отводится пространственной структуре почвенного покрова. Большинство исходных показателей зависит от типов, видов и разновидностей почвенного покрова. Особое внимание уделяется моделированию гидромелиоративных решений и их следствий. В основе всех этих расчетов лежит концепция расчета и оценки жизненного цикла мелиоративных мероприятий. На уровне отдельных HRUs и в масштабе русла реки SWAT позволяет рассчитать и смоделировать распространение загрязнений, твердый осадок, наличие бактерий и болезнетворных микроорганизмов. Перенос и переотложение пылеватых частиц почвенного покрова рассчитывается с помощью модифицированного уравнения потери почвы (Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)). Движение азота и фосфора в HRUs моделируется в зависимости от циклов подпитки, путем учета внесения ряда неорганических и органических удобрений. Потери азота и фосфора из почвенной системы рассчитывается в модели путем учета их поглощения произрастающими культурами или выносом их поверхностным стоком как в виде растворов или твердых частиц. Рассчитывается также вклад бактерий в круговорот азота и фосфора. Важнейшим требованием к использованию SWAT моделей является установление их чувствительности и верификация. Практически во всех случаях, наблюдается расхождение между прогнозируемыми и реальными значениями. SWAT обладает мощным и достаточным инструментарием калибровки моделей, повышения их точности и чувствительности. вывод Развитие и внедрение SWAT -моделей в Кыргызстане, позволит более эффективно использовать имеющиеся данные и технологический инструментарий для более эффективного построения прогнозных моделей и оценок результатов взаимодействия общества и природы. Развитие этого инструментария осуществляется на основе ГИС-технологий, материалов дистанционного зондирования, GPS-технологий, интернет технологий и технологий экологического мониторинга. Требования к базам исходных данных и формат данных генерируемых и симулируемых моделью соответствует международным стандартам и директиве ЕС INSPIRO. Это с одной стороны, облегчает доступ к международным базам данных, материалам ДЗЗ, технологиям расчета и моделирования, но с другой стороны требует перестройки уже существующей в Кыргызстане системы сбора Экологической информации.

Литература

- 1). Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams. 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *J. American Water Resources Assoc.* 34(1): 73-89.
- 2). Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and P. M. Allen. 1999. Continental-scale simulation of the hydrologic balance. *J. American Water Resources Assoc.* 35(5): 1037-1052.

- 3). Bekele, E. G., and J. W. Nicklow. 2007. Multi-objective automatic calibration of SWAT using NSGA-II. *J. Hydrol.* 341(3-4): 165-176.
- 4). Beven, K. J. 2000. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. New York, N.Y.: John Wiley and Sons.
- 5). Cao, W., B. W. Bowden, T. Davie, and A. Fenemor. 2006. Multi-variable and multi-site calibration and validation of SWAT in a large mountainous catchment with high spatial variability. *Hydrol. Process.* 20(5): 1057-1073.
- 6). Chu, T. W., and A. Shirmohammadi. 2004. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the Piedmont physiographic region of Maryland. *Trans. ASAE* 47(4): 1057-1073.
- 7). Demarty, J., C. Otle, I. Braud, A. Olioso, J. P. Frangi, H. V. Gupta, and L. A. Bastidas. 2005. Constraining a physically based soil-vegetation-atmosphere transfer model with surface water content and thermal infrared brightness temperature measurements using a multiobjective approach. *Water Resources Res.* 41: W01011, doi: 10.1029/2004WR003695.

УДК 577.4.634.0.15

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И ОПТИМИЗАЦИЯ БИОГЕОЦЕНОЗА

*Чыңгожоев Н.М., Токторалиев З.Б., Темиркул к. К., Yue Pi Chang, Токторалиев Б.А.
НАН КР, Бишкек, Кыргызская Республика, Кумай, Урумчи
E-mail: toktoraliyev@inbox.ru, nurstan@mail.ru, temirkulkyzy91@mail.ru*

ECOLOGICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF GROWTH BIOGEOCOENOSIS

*Chyngojoev N.M., Toktoraliyev Z.B., Temirkul k K., Yue Pi Chang, Toktoraliyev B.A.
National Academy of Science, Bishkek, Kyrgyz Republic, China, Urumchi
E-mail: toktoraliyev@inbox.ru, nurstan@mail.ru, temirkulkyzy91@mail.ru*

Полевой материал был собран в еловых лесах Прииссыккуля и обработан по методике, разработанной С.И. Спиридоновым, С.В. Фесенко, Ю.А. Томиной, Р.М. Алексахиной. Основное положение этого метода заключается в математическом моделировании влияния экологических факторов на древостои. Определены функции парциальной экологической полезности для различных способов размещения саженцев ели по методике, предложенной А.И. Бузыкиным, Л.С. Пшеничниковой и В.Г. Суховольским. Экологическая модель позволит определить лучшие условия для роста и развития растений, повышения их устойчивости и увеличения продуктивности насаждений.

The field material has been collected in fir forests Issyk-kul area and processed by a technique developed by S.I. Spiridonov, S.V. Fesenko, J.A. Tominoj, R.M. Aleksahinoj. The Substantive provision of this method consist in mathematical modelling of influence of ecological factors on forest stands. Functions partial ecological utility for a various way of placing of saplings of a fir-tree by a technique offered by A.I. Buzykinym, L.S. Pshenichnikovoi and V.G. Suhovolskim are defined. The ecological model will allow to define the best conditions for growth and development of plants, increase of their stability and increase in efficiency of plantings.

Данная статья опубликована при финансовой поддержке КНР Проекта: 2010DFB90240

Введение

Распределение лесов Кыргызстана весьма неравномерно и определяется гидротермическими условиями отдельных горных хребтов и особенностями породного состава. В северной части республики, в частности Прииссыккулье, леса образованы в основном елью Шренка. В большинстве своем они распространены по крутым (более 30°) склонам гор на значительных высотах и имеют огромное противозерозионное, водоохранное и водорегулирующее значение.

Лесные площади, на которых произрастает естественный лес, по возрастному составу представлены в основном спелыми и перестойными насаждениями [1].

По данным И.Н. Чеботарева [5], в период с 1925 по 1950 гг. интенсивные рубки промышленного значения проводились главным образом в еловых лесах, и размер ежегодной выборки в 3,7 раза превышал годичный прирост. В первую очередь вырубались еловые леса, расположенные в более или менее доступных местах. Они пройдены многократными рубками, естественное возобновление в них протекает неудовлетворительно, а искусственное восстановление на вырубках связано с целым рядом трудностей, но главным образом, с невозможностью применения механизмов при работах на склонах гор.

Из-за сплошных рубок насаждений ели тьянь-шаньской образовались огромные безлесные площади, впоследствии заросшие травянистой и кустарниковой растительностью и превратились растительностью в выпасные угодья. Полное исчезновение леса вызывает целый ряд негативных явлений – развитие эрозионных процессов, значительное иссушение склонов и др.

- 3).Bekele, E. G., and J. W. Nicklow. 2007. Multi-objective automatic calibration of SWAT using NSGA-II. *J. Hydrol.* 341(3-4): 165-176.
- 4).Beven, K. J. 2000. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. New York, N.Y.: John Wiley and Sons.
- 5).Cao, W., B. W. Bowden, T. Davie, and A. Fenemor. 2006. Multi-variable and multi-site calibration and validation of SWAT in a large mountainous catchment with high spatial variability. *Hydrol. Process.* 20(5): 1057-1073.
- 6).Chu, T. W., and A. Shirmohammadi. 2004. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the Piedmont physiographic region of Maryland. *Trans. ASAE* 47(4): 1057-1073.
- 7).Demarty, J., C. Otle, I. Braud, A. Olioso, J. P. Frangi, H. V. Gupta, and L. A. Bastidas. 2005. Constraining a physically based soil-vegetation-atmosphere transfer model with surface water content and thermal infrared brightness temperature measurements using a multiobjective approach. *Water Resources Res.* 41: W01011, doi: 10.1029/2004WR003695.