

Осипов В.В., Осадчая Н.Н.

Украинский гидрометеорологический институт, г.Киев

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SWAT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА НИТРАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕК ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ

Ключевые слова: азот, эвтрофикация, SWAT, азотные удобрения

Вступление. Азот жизненно необходим для всех живых организмов и принадлежит к группе четырех важнейших элементов (С, О, Н, N), составляющих химическую основу их тканей. Высокая степень биопотребления и скорость метаболизма азота, обусловленной его способностью принимать 7 валентных состояний, привели к тому, что практически во всех ландшафтах мира он находится в дефиците.

Природный биогеохимический цикл азота связан с его фиксацией из атмосферы, дальнейшей нитрификацией, участием в образовании биокостных тел, а также последующим возвратом в атмосферу путем денитрификации.

Деятельность человека существенно нарушила баланс между основными составляющими азотного цикла. Сжигание ископаемого топлива привело к поступлению в атмосферу большой массы окислов азота и подкислению атмосферных осадков. Но значительно большее влияние оказывает производство и применение удобрений в процессе культурного земледелия.

Как известно, недостаток азота в почве лимитирует ее продуктивность. При использовании умеренных доз азотных удобрений доля грунтового азота достигает 70-80% от общей величины его выноса с урожаем сельскохозяйственных культур [2]. Таким образом, потенциальная и эффективная плодородность почв преимущественно определяется содержанием и общими запасами азота в их профиле.

Рост народонаселения диктует усиление воспроизводства продуктов питания, в связи с чем увеличивается необходимость интенсификации сельского хозяйства за счет применения удобрений. По данным FAO [18] использование удобрений в мире неуклонно возрастает. Если в 1984 г. общее применение азотсодержащих удобрений составляло 10,3 млн.т, то в 2002 г. оно увеличилось до 85,3 млн. т, а в 2014 г. достигло 113,3 млн.т. Из приведенных данных следует, что за 30 лет применение удобрений возросло в 11 раз.

Система применения азотных удобрений, дозы, сроки и способы внесения существенно отличаются в зависимости от природно-климатических условий, генетических особенностей почв. Однако, во всех природных зонах Украины и на всех типах почв их эффективность в получении прироста урожайности превышает соответствующую роль фосфорных и калийных удобрений [6].

Несмотря на бытующее мнение о недостаточном применении удобрений в Украине в связи с их дороговизной, статистика FAO [18] говорит о сравнимом уровне использовании с ведущими европейскими странами Францией и Германией. Так, в 2014 г. в Украине было внесено 1,54 млн. т азотных удобрений, что в пересчете на общую площадь страны составило 2,55 т/км². Во Франции и Германии было применено соответственно 1,74 т/км² и 3,91 т/км². Наибольшее использование азотных удобрений в мире отмечено в Бельгии - 37,8 т/км² и Нидерландах - 41,7 т/км².

Эффективность азотных удобрений является залогом достижения высоких и стабильных урожаев. Однако, при нарушении регламентных мероприятий применения удобрений наблюдаются потери азота за пределы почвенного профиля, что приводит не только к снижению эффективности их использования, но и возникновение экологических рисков. Поступление соединений азота в водные экосистемы нарушает баланс развития водных организмов в сторону их избыточной продуктивности, что известно под термином эвтрофикация [16]. Процесс эвтрофикации поверхностных вод в настоящее время приобрел глобальный характер. Доминирующим фактором не достижения «хорошего» экологического статуса вод в различных речных бассейнах мира является избыточное содержание биогенных элементов – соединений азота и фосфора. [22].

Согласно результатам государственного мониторинга, в Украине также отмечается тотальное загрязнение поверхностных вод соединениями азота и фосфора. В связи с этим возникла необходимость разработки и имплементации методов контроля и предотвращения дальнейшей эвтрофикации водных объектов. Последние два десятилетия для этих целей все чаще используется компьютерное моделирование, благодаря возможности охвата большого количества данных и территории, экономии людских и финансовых ресурсов [24].

Для моделирования биогенного загрязнения вод первое место в мире по частоте использования прочно удерживает модель SWAT. Она стала своего рода стандартом для исследования смыва загрязняющих веществ, поступающих в воду от таких диффузных источников, как сельскохозяйственные угодья [25]. В сравнении с другими моделям, SWAT является наиболее оптимальной для использования в Украине [7].

Целью данной работы является количественная оценка основных источников поступления нитратов в речное русло, а также разработка рекомендаций по их уменьшению с использованием физико-математической модели SWAT.

Материалы и методы. Объект исследования и входные данные. Работы по моделированию выполнены для небольшого водосбора р. Головесни площадью 30,4 км². Почвы исследуемого бассейна представлены темно-серыми оподзоленными разностями (54,2%), серыми лесными (40,2%) и черноземами оподзоленными (5,6%).

В сельскохозяйственном использовании находится около 48% территории, остальная часть занята лесами (38%) и лугами (14%). Среди возделываемых культур отмечены озимая пшеница (занимает 50% обрабатываемых земель), ячмень, овес, кукуруза, картофель.

Точность любой модели, прежде всего, зависит от качества входных данных. SWAT требует наличие следующих параметров: рельеф земной поверхности, типы почв, характер землепользования, метеорологические и климатические данные.

Для работы использована цифровая карта с разрешением 90м [21]. Карта землепользования получена путем оцифровки космического снимка Google Maps, цифровая карта типов почв взята из публичной кадастровой карты Украины [9].

Метеорологические и климатические параметры (осадки, температура воздуха, влажность, скорость ветра, солнечная радиация) получены из материалов наблюдений Придеснянской водно-балансовой станции, на территории которой расположен водосбор р. Головесни.

Гидрологические ряды представлены ежедневными данными за период 1956–2012 гг., тогда как сведения о химическом составе воды весьма ограничены, в связи с редким пробоотбором, изменяющимся от 4 до 14 раз в год.

Выбор периода моделирования и нормы удобрений был обусловлен следующими факторами. Максимальное применение удобрений в Украине наблюдалось до распада Советского Союза. Согласно данным [3] использование азота в период 1986-1990гг в Украине составляло в среднем 91кгN/га посевных площадей. Начиная с 1991 года, объемы применения органических и минеральных удобрений резко сократились. В то же время статистическая информация по Черниговской области за 2004-2006гг свидетельствует о применении в отдельных районах азотных удобрений в дозах до 200 кгN/га [10]. Почвы севера Черниговской области низкопродуктивные и имеют показатель обеспеченности гумусом 2%, что ниже по сравнению со средним показателем по Украине (3.5%) [4]. Для обеспечения устойчивого земледелия в исследуемом регионе требуется дополнительное внесение удобрений.

Исходя из вышеприведенных соображений для моделирования был выбран период 1985–1986 гг. с максимальной интенсивностью ведения сельского хозяйства. Применение удобрений рассчитывалось исходя из дозы 200 кгN/га.

Модель SWAT. SWAT представляет собой распределенную физико-математическую модель с отдельными полуэмпирическими элементами. Она была разработана для прогноза влияния сельскохозяйственного производства на формирование водного стока, эрозионные процессы и вынос химических веществ на комплексных водосборах с разнообразными почвами и характером землепользования. У пользователя есть возможность указывать различные параметры сельскохозяйственных практик, включая время посева-сбора урожая, вспашки, применение полива, внесение удобрений [14].

Элементами моделирования гидрологических процессов, сельскохозяйственных практик, роста растений в SWAT являются элементарные операционные гидрологические единицы (HRUs – hydrologic response units), соответствующие территориям с уникальной комбинацией типа почвы и природопользования. Объем водного и твердого стока, перенос биогенных веществ, поступающих с каждой гидрологической единицы, прокладываются по маршруту речной сети к замыкающему створу.

Ранее модель SWAT была нами откалибрована за период 1985–1986гг. и валидирована за период 1987–1988гг. по ежедневным данным речного стока, а также по данным выноса соединений минерального азота (12–16 значений в год) [8].

Азотный цикл. SWAT рассматривает две минеральные формы азота (NH_4^+ и NO_3^-) и три органические (рис. 1). «Свежий» органический азот ассоциируется с растительными остатками и микробной биомассой, оставшийся органический азот разделяется между фракциями активного и пассивного гумуса.

Органический азот. На начальном этапе модель рассчитывает количество органического азота, предполагая, что соотношение C:N для гумусовых веществ равно 14:1. Далее азот гумусового горизонта разделяется между активной и пассивной формами. Доля активной формы устанавливается как 0,02. Процесс перехода азота между фракциями активного и пассивного гумуса является обратимым.

В результате гниения растительные остатки переходят во фракцию активного гумуса, распадаясь на более простые органические компоненты, либо в результате микробной минерализации трансформируются в доступный для растений неорганический азот. С последним процессом конкурирует обратный процесс – иммобилизация, превращение почвенного азота в недоступный для растений органический азот. В SWAT эти два процесса объединены в один суммарный алгоритм, адаптированный из минерализационной модели PAPRAN [20].

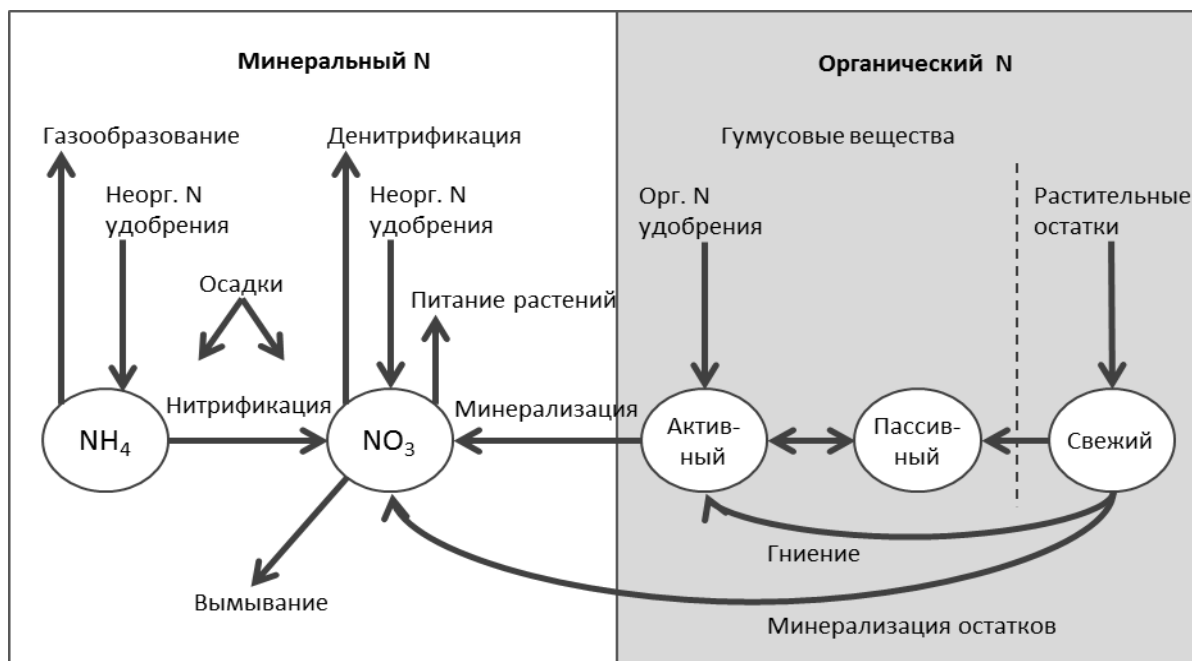


Рис. 1. Азотный цикл в SWAT [15]

Минерализация активного гумуса зависит от влажности и температуры почвы, и протекает при температуре выше 0. Что касается минерализации и гниения растительных остатков, то также учитываются отношения C:N и C:P.

Минеральный азот. Нитраты в почвенном слое расходуются на денитрификацию, питание растений или вымываются в нижележащие водоносные горизонты и водоёмы.

Денитрификация – это бактериальное превращение нитратов в газы N_2 или N_2O в анаэробных условиях. Зависит от содержания воды и температуры почвы, присутствия источника углерода и количества нитратов. В целом, денитрификация наблюдается, когда насыщенность почвы влагой больше 60%. С возрастанием содержания воды в почве, развиваются анаэробные условия ввиду того, что диффузия кислорода в воде в 10000 раз медленнее, чем в воздухе. Учитывая, что скорость диффузии кислорода уменьшается с повышением температуры, температура также влияет на денитрификацию.

Потребление азота растениями характеризуется содержанием азота в растительной биомассе, которое зависит от стадии роста растения при оптимальных условиях. Как правило, в реальных условиях рост растений отстает от оптимального в результате дефицита влаги, азота, фосфора, неблагоприятных температурных колебаний. В SWAT разработаны алгоритмы для учета подобных воздействий.

Большинство почвенных минералов при нормальном pH заряжено негативно и отталкивают анионы от своей поверхности. Этот процесс имеет прямое влияние на транспорт анионов в почве, т.к. эффективно исключает анионы из самого медленного участка движения воды, участка, примыкающего к поверхности заряженных почвенных частиц [19]. В результате, суммарный путь аниона в почве короче, чем, суммарный путь водного потока в почве [23]. Данное обстоятельство учитывается в SWAT при моделировании движения нитратных анионов вместе с поверхностным, латеральным стоками, а также их перколяции и движении в верхнем водоносном горизонте. Для учета потерь нитратов из-за биологических и химических процессов, происходящих в подземных водах, в SWAT

устанавливается период полураспада, который учитывает суммарный эффект всех реакций.

Азот аммонийных удобрений быстро вступает в обменные реакции почвенного поглотительного комплекса, а потом в процессе метаболизма бактерий-нитрификаторов переводится в нитратную форму или в результате химических реакций переходит в аммиак. Как показали исследования [20], миграционная подвижность ионов минеральных удобрений составляет такую последовательность: нитраты > фосфаты > аммоний > калий. Поэтому аммонийная форма практически не вымывается в водоемы и в данной работе алгоритмы нитрификации и газообразования аммония SWAT подробно не рассмотрены.

Обсуждение результатов. На рис. 2 показаны количественные результаты расчета отдельных составляющих азотного цикла для бассейна р. Головесни.

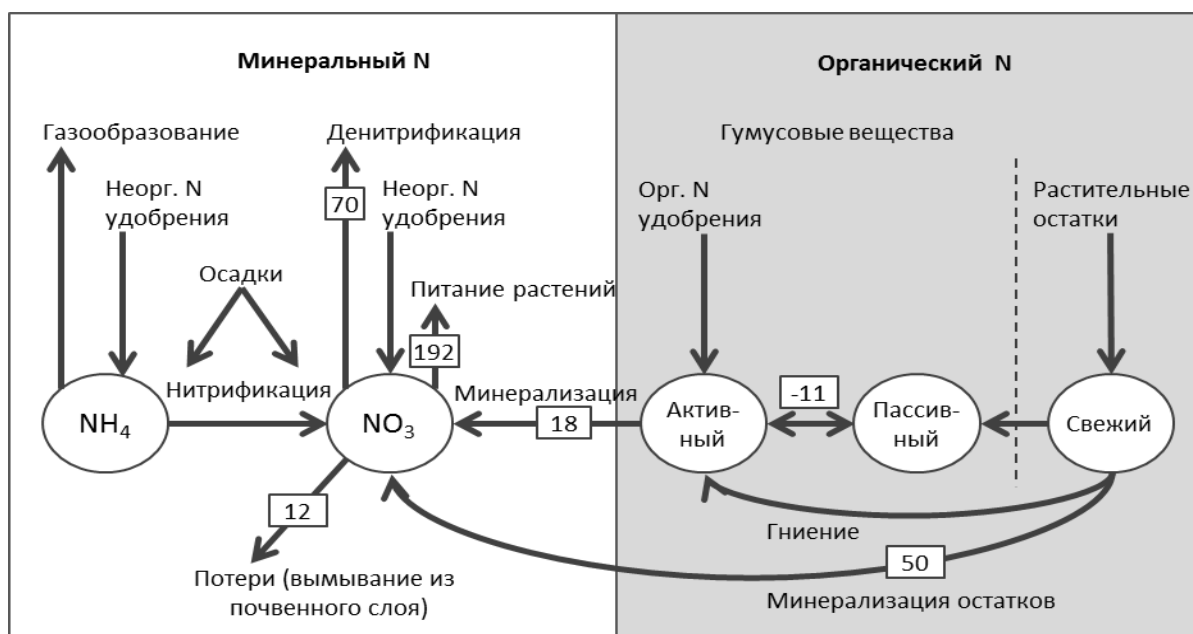


Рис. 2. Баланс азотного цикла в пределах бассейна р. Головесня, 1985 г. (в прямоугольниках значения потоков азота в кгN/га пахотных земель)

Как видно из рис. 2, наибольшей составляющей расходной части баланса азота в нитратной форме является потребление на питание растений в процессе их вегетации. По сравнению с этим фактором утилизация нитратных ионов за счет процесса денитрификации в 2.7 раза меньше, что в абсолютных цифрах составляет 70 кгN/га пахотных земель. Согласно экспериментальным наблюдениям количество газообразных потерь азота за счет денитрификации колеблется в широких пределах от <1 до 208кгN/га в год, порой достигая 75% от дозы внесенного азота удобрений [1]. Этот процесс несет негативный экономический эффект, но не связан с экологическим воздействием. Вымыванием нитратных соединений с водным стоком имеет наименьшую долю в расходной части баланса – 4,4%, что равно 12 кгN/га. Однако именно этот азот играет важную роль в процессе эвтрофирования поверхностных вод. В рассматриваемой нами р. Головесне среднемесячные концентрации нитратов варьировались в широком диапазоне, с максимальным значением 1,29 мг/дм³ (0,27 мгN/дм³), наблюдавшимся в июне месяце (рис. 3). Согласно принятым в Украине стандартам вода достигает евтрофного состояния при превышении содержания нитратных ионов уровня 0,50 мгN/дм³ [5]. Для сброса сточных вод лимитирующей является концентрация 10

мгN/дм³. В зарубежной литературе приводятся сведения, что вода достигает эвтрофного состояния при концентрации общего азота более 1,5мгN/ дм³ и общего фосфора более 0,07мгP/ дм³ [17].

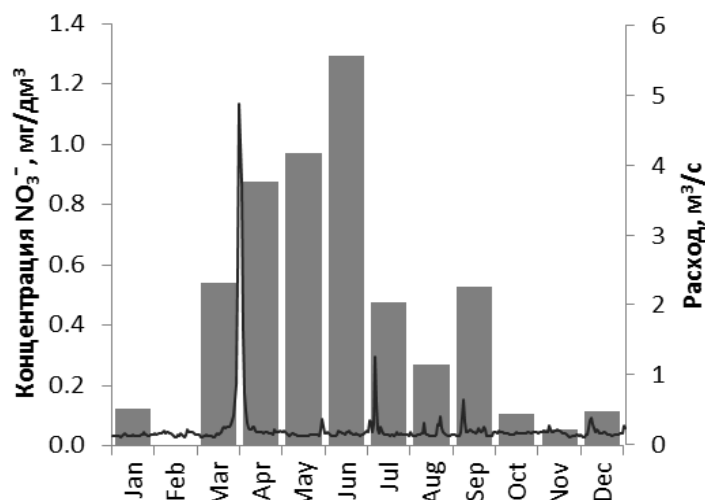


Рис. 3. Расчетная среднемесячная концентрация нитратных ионов в воде и гидрограф стока р. Головесни в 1985 г.

В годовом разрезе возрастание концентраций в контрольном створе наблюдается в марте месяце за счет выноса нитратных соединений с контактирующего слоя почвы. Далее в мае и июне месяце к природным источникам нитратных соединений добавляется антропогенная составляющая и концентрации нитратных ионов в воде достигают максимальных за год величин. В начале вегетационного периода (конец апреля) поля обрабатываются азотными удобрениями, часть из которых вымывается атмосферными осадками. Сентябрьское повышение содержания нитратных ионов в воде связано с их вымыванием от минерализации пожнивных остатков.

Важнейшим приемом управления выноса азотных удобрений с водным стоком является расчет оптимальной дозы, времени, метода внесения удобрений.

Исследование зависимости урожайности озимой пшеницы и выноса нитратов от количества применяемых удобрений показало следующее (рис. 4). Урожайность не связана прямолинейно с увеличением дозы удобрений. Интенсивность прироста урожая с возрастанием дозы удобрений снижается (кривая В), тогда как доля непроизводительных потерь, отражающаяся выносом удобрений с водным стоком, возрастает (кривая А). Без применения удобрений урожайность составила бы 0,82 т/га. При внесении удобрений в дозе 100кг/га урожайность возрастает до 6,75 т/га. Соответственно, прирост урожая составляет 5,93 т/га. При последующем увеличении дозы удобрений до 200 кг/га урожайность достигнет 8,66 т/га, а ее прирост будет равным 7,84 т/га. Таким образом, при увеличении дозы удобрений в 2 раза, урожайность увеличивается только в ~1,3 раза. Без применения удобрений вынос азота с водным стоком составляет 0,176 кгN-NO₃⁻/га. В случае применения удобрений из расчета 100 кгN-NO₃⁻/га вынос азота возрастет на 19%. В то же время, при увеличении дозы удобрений до 200 кгN-NO₃⁻/га вынос со стоком увеличится на 73%. Из приведенного примера видно, что при уменьшении дозы удобрений с 200 до 100 кгN-NO₃⁻/га удастся существенно понизить вынос нитратов без существенной потери урожайности. Данная практика может быть целесообразна в зонах уязвимых к нитратному загрязнению.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1(44)

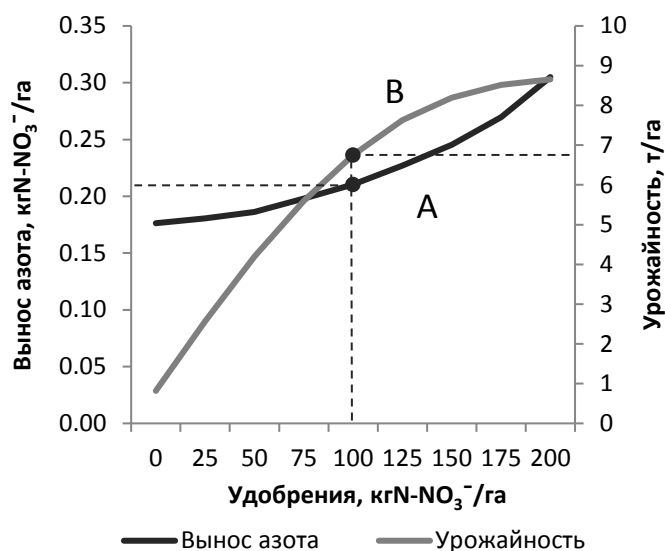


Рис. 4. Зависимость (А) выноса N-NO_3^- с водным стоком и (В) прироста урожая озимой пшеницы от количества применяемых удобрений по результатам моделирования SWAT

Существенного уменьшения выноса нитратов можно достичь с помощью практики дробного внесения удобрений в течение первого месяца роста культуры. Результаты моделирования SWAT показали, что разбиение дозы удобрений 100 $\text{кгN-NO}_3^-/\text{га}$ на 2 равные части уменьшает вынос нитратов в период роста культуры (апрель – август) на 33% (рис. 5, В), на 3 части - на 52% (рис. 5, С), на 4 – на 66% (рис. 5, D). Если растянуть период внесения удобрений больше, чем на месяц, то наблюдается незначительное падение урожайности (рис. 5, F).

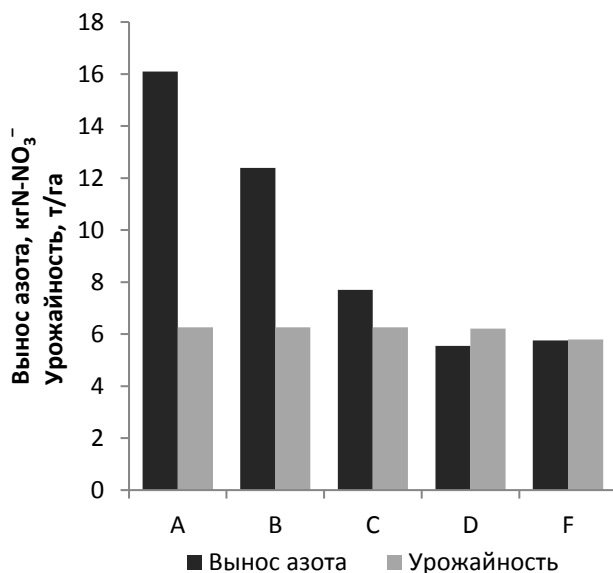


Рис. 5. Расчетное изменение выноса нитратов и урожайности от дробности внесения удобрений (общая доза 100 $\text{кгN-NO}_3^-/\text{га}$): (А)- однократное, (В)- 2-хкратное, (С)- 3-хкратное, (D) -4-хкратное, (F) - 4-хкратное в течение 40 дней

Исследования дробного внесения азота, проведенные в Украине ранее, были сконцентрированы только на вопросе экономического эффекта (кг урожая/кгN удобрений). Указанная практика вполне может быть рекомендована для исследуемого нами водосбора с целью контроля эвтрофикации поверхностных вод.

Как показано в [6, с.86–87], весомый позитивный эффект от такой практики внесения удобрений наблюдается на почвах с низким запасом минерального азота, а также в зонах с большим количеством осадков, например, западная Лесостепь.

Важным рычагом влияния на непродуктивный вынос нитратных соединений может быть выбор культивируемой культуры. Наиболее положительный эффект наблюдается при посеве озимых культур, которые потребляют значительно большее количество азота на единицу товарной продукции по сравнению с другими культурами. Например, для озимой пшеницы потребность в азоте составляет 28,1 кг/т, тогда как на технические культуры 20 кг/т, овощи – 4,2 кг/т [12] (рис. 6).

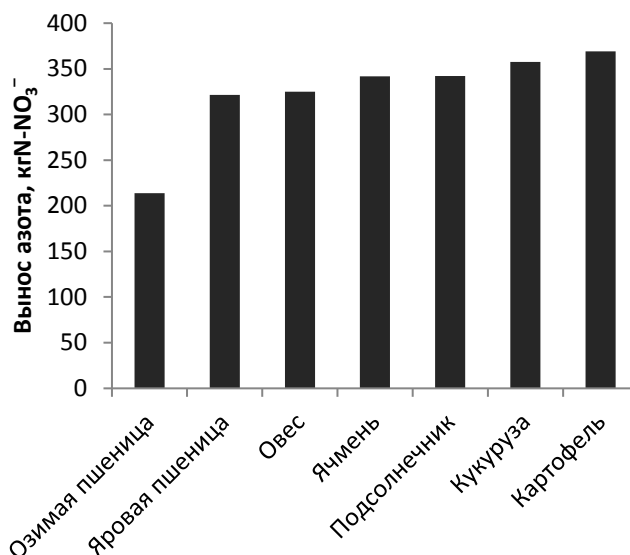


Рис. 6. Зависимость выноса нитратов от посевной культуры, смоделированная в SWAT

В среднем, потребление азота с/х культурами укладывается в ряд: озимая пшеница > яровые зерновые колосковые, картофель > кукуруза, подсолнечник. [6, с. 105].

Выводы. Проведено моделирование формирования стока нитратных соединений азота на малом речном водосборе р. Головесня с использованием физико-математической модели SWAT.

Установлено, что основным антропогенным фактором поступления нитратных соединений в русловую сеть рек является внесение удобрений под сельскохозяйственные культуры. В результате моделирования за расчетный 1985г доля стока за счет применения азотных удобрений составила 42% (12,9кг/км²). Для сравнения, ранее в работе В.К. Хильчевского [11, с. 111] для р. Головесни в результате расчетов на основе экспериментальных данных за период 1986-1990гг доля стока за счет применения азотных удобрений составила 47%.

Наиболее критическими являются первые месяцы после внесения удобрений (апрель-июнь) из-за высокой мобильности NO₃⁻, которая объясняется высокой растворимостью и отрицательным зарядом, обуславливающим отталкивание от отрицательно заряженных частиц грунта. Расчетная средняя концентрация NO₃⁻ за период апрель-июнь (1,06мг/дм³) в 2,4раза выше среднегодовой (0,44мг/дм³).

С помощью SWAT построена зависимость выноса нитратных соединений и урожайности озимой пшеницы от дозы внесенных удобрений (от 0 до 200 кгN-NO₃⁻/га). Показано, что с возрастанием применяемой дозы удобрений прирост урожайности снижается, а доля вымываемых удобрений, напротив, увеличивается.

Существенный эффект снижения потерь нитратных соединений на вымывание оказывает дробное внесение удобрений в течение месяца после посева, при разделении 100 кгN-NO₃⁻/га удобрений на 4 части вынос нитратов сокращается на 66% по сравнению с однократным внесом.

Озимые культуры за счет большей потребности в соединениях азота на формирование товарной продукции уменьшают вынос нитратов больше других культур приблизительно на 30%.

Список литературы

1. Башкин В.Н. Агрогеохимия азота / В.Н. Башкин – Пушкино: Изд. АН СССР. – 1987. – 270с.
2. Гамзиков Г.П. Баланс и превращение азота удобрений. / Г.П. Гамзиков, Г.И. Кострик, В.Н. Емельянова – Новосибирск: Наука, 1985. – 160с.
3. Заришняк А.С. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України / А.С. Заришняк, С.А. Балюк, М.В. Лісовий, А.В. Комариста // Вісник аграрної науки. – 2012. – №1. – С. 28-32.
4. Медведєв В.В. Атлас карт властивостей ґрунтів України (електронна версія) / В. В. Медведєв, Т. М. Лактіонова, І. В. Гайворонський – Харків – 2006.
5. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / під ред. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіук О.П [та інші]. – Київ, 1998. – 28с.
6. Носко Б.С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроєкосистемах. / Б.С. Носко – Харків: Міськдрук, 2013. – 130с.
7. Осипов В.В. Выбор имитационной компьютерной модели для анализа выноса соединений азота и фосфора и её апробация на малом речном водосборе / В.В. Осипов, Н.Н. Осадчая // Наук. Пр. УкрНДГМІ. – 2016. – Вип. 268. – с. 66-72.
8. Осипов В.В. Применение модели SWAT для моделирования выноса биогенных элементов с аграрных водосборов / В.В. Осипов, Н.Н. Осадчая // Наук. Пр. УкрГМІ. – 2017. – Вип. 270. – с. 60-67.
9. Публічна кадастрова карта / Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. – 2016. – Режим доступа: <http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>.
10. Статистичний бюлетень: Внесення мінеральних та органічних добрив під врожай сільськогосподарських культур у 1999-2010рр. / Головне управління статистики у Чернігівській області. – 2016.
11. Хільчевський В.К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра / В.К. Хільчевський – Київ: Київський університет. 1996. – 222 с.
12. Хрисанов Н.И. Управление эвтрофированием водоемов / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов – СПб: Гидрометеиздат, 1993. – 279 с.
13. Шохова Т.А. Изучение процессов миграции питательных элементов / Т.А. Шохова, А.Р. Газиева // Агрохимический вестник. – 2009. – №3. – С. 10-12.
14. Arnold J.G. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development / J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams // J. Am. Water Resour. Assoc. – 1998. – № 34 (1). – С. 73–89.
15. Arnold J.G. Soil and Water Assessment Tool Input/output file documentation (version 2009). / J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan, J.R. Williams, E.B. Haney, S.L. Neitsch // Texas Water Resources Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas, USA. – 2011.
16. Dodds W. Eutrophication and trophic state in rivers and streams / W. Dodds // Limnol Oceanogr. – 2006. – № 51. – С. 671–680.
17. Dodds W.K. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus / W.K. Dodds, J.R. Jones, E.B. Welch // Water Research. – 1998. – № 32. – С. 1455–1462.
18. FAO Statistical Yearbook: Europe and Central Asia food and agriculture / Food and Agricultural Organization for the United Nation. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i3621e.pdf>.
19. Jury W.A. Soil physics, 5th edition / W.A. Jury, W.R. Gardner, W.H. Gardner. – 1991. – John Wiley and Sons Inc. – New York, N. Y.
20. Seligman N.G. PAPRAN: A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen / N.G. Seligman, van Keulen // In M.J. Frissel and J.A. van Veed. (eds) Simulation of nitrogen behavior of soil-plant systems. – Proc. Workshop, Wageningen. – 1980. – P. 192-221.
21. SRTM Digital Elevation Database / The CGIAR Consortium for Spatial Information. – 2013. - Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
22. The European environment — state and outlook 2015: synthesis report / European Environment Agency. – Copenhagen, Denmark. – 2015. – Режим доступа: <http://www.eea.europa.eu/soer>.
23. Thomas G.W. The relation between soil characteristics, water movement and nitrate concentration of ground water / G.W. Thomas, M. McMahon – Univ. of Kentucky Water Resources Institute Research Report No. 52. – 1972. – Lexington, KY.
24. Total Maximum Daily Loads Model

Evaluation and Research Needs / United States Environmental Protection Agency – 2005. – 600/R-05/149. **25.** Wellen C. Evaluation of the current state of distributed watershed nutrient water quality modeling / C. Wellen, A.-R. Kamran-Disfani, G.B. Arhonditsis // Environ. Sci. Technol. – 2015. – № 49. – С. 3278–3290.

Применение модели SWAT для моделирования стока нитратных соединений рек лесостепной зоны Украины

Осипов В.В., Осадчая Н.Н.

Применение азотных удобрений является важнейшей составляющей получения урожая. Однако их непроизводительные потери приводят к загрязнению водных объектов и вызывают их эвтрофикацию.

С использованием физико-математической модели SWAT (Soil and Water Assessment Tool) выполнено моделирование выноса нитратных соединений с водным стоком. Калибровка и валидация модели SWAT была выполнена на малом речном водосборе р. Головесня (30.4 км²), 48% территории которого занимают пахотные земли.

По результатам моделирования установлено, что основной причиной поступления азота в русловую сеть является применение минеральных азотных удобрений.

Исследовано влияние различных сельскохозяйственных практик на снижение непроизводительных потерь удобрений и их выноса в гидрографическую сеть.

Ключевые слова: азот, эвтрофикация, SWAT, азотные удобрения.

Застосування моделі SWAT для моделювання стоку нітратних сполук річок лісостепової зони України

Осипов В.В., Осадча Н.Н.

Застосування азотних добрив є найважливішою складовою отримання врожаю. Однак їх невикористані втрати призводять до забруднення водних об'єктів і викликають їх евтрофікацію.

З використанням фізико-математичної моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool) виконано моделювання виносу нітратних сполук з водним стоком. Калібрування та валідація моделі SWAT була виконана на малому річковому водозборі р. Головесня (30.4 км²), 48% території якої займають орні землі.

За результатами моделювання встановлено, що основною причиною надходження азоту в руслову мережу є застосування мінеральних азотних добрив.

Досліджено вплив різних сільськогосподарських практик на зниження невикористаних втрат добрив і їх виносу в гідрографічну мережу.

Ключевые слова: азот, евтрофікація, SWAT, азотні добрива

SWAT Model Application for Simulating Nitrate Emission for the Rivers of the Forest-steppe Zone of Ukraine

Osypov V.V., Osadcha N.N.

The application of nitrogen fertilizer is an essential component of producing crops. However, their non-production losses lead to pollution of water bodies and cause its eutrophication. The objectives of this work were to assess the main sources of nitrate emission and develop recommendations for its reduction by using process-based model SWAT.

The calibration and validation of SWAT model were applied in a small Holovesnya River Catchment (area 30.4 km²; about 48% of catchment area is cultivated) located on the territory of the Desna water-balance station. The U-notch water level recorder is installed at catchment outlet. Observations of precipitation, air temperature, humidity, wind speed and solar radiation were collected in the catchment. The digital SRTM maps with resolution 90 m are used for the work. The land use was digitized from the Google Map satellite image. Map of soil types was taken from the public cadastral map of Ukraine.

The modeling has shown that nitrate compounds are washed off during the first months after the fertilizer application because of their high solubility. A more detailed analysis has shown that increase of the amount of fertilizer results in the reduction of its efficiency. The rate of a crop yield gain reduces but the proportion of the washed off fertilizers increases. Divided application of fertilizer has a positive effect during the month after planting. Winter crops reduce nitrate loads into the streams more effectively than other crops because of longer period of the growth.

These practices could be recommended in order to control the eutrophication of surface waters.

Key words: nitrogen, eutrophication, SWAT, nitrogen fertilizers

Надійшла до редколегії 10.02.2017