

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

УДК 556.55:504.4

ББК 26.226.6

С.А. Кондратьев, М.В. Шмакова, А.Ю. Брюханов, Е.Ф. Чичкова, Е.Г. Маркова

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО СНИЖЕНИЯ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ, СФОРМИРОВАННОЙ НА РЕЧНОМ ВОДОСБОРЕ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Предложена модель формирования биогенной нагрузки на водосборе, учитывающая вклад как точечных, так и рассредоточенных (диффузных) источников естественного и антропогенного происхождения. Выполнен расчет биогенной нагрузки на Финский залив со стороны водосбора реки Луги в современных условиях. Дана оценка возможного снижения нагрузки в результате внедрения в сельскохозяйственное производство наилучших доступных технологий обращения с органическими и минеральными удобрениями

Ключевые слова:

биогенная нагрузка, математическая модель, наилучшие доступные технологии.

Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Брюханов А.Ю., Чичкова Е.Ф., Маркова Е.Г. Оценка возможного снижения биогенной нагрузки, сформированной на речном водосборе, в результате внедрения наилучших доступных сельскохозяйственных технологий // Общество. Среда. Развитие. – 2016, № 1. – С. 92–99.

- © Кондратьев Сергей Алексеевич – доктор физико-математических наук, зам. директора, Институт озерадения Российской академии наук (ИНОЗ РАН), Санкт-Петербург; e-mail: kondratyev@limno.org.ru
- © Шмакова Марина Валентиновна – кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт озерадения Российской академии наук (ИНОЗ РАН), Санкт-Петербург; e-mail: m-shmakova@yandex.ru
- © Брюханов Александр Юрьевич – кандидат технических наук, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург; e-mail: sznii@yandex.ru
- © Чичкова Елена Федоровна – кандидат географических наук, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург; e-mail: chichkova@rtc.ru
- © Маркова Елена Геннадьевна – научный сотрудник, Институт озерадения Российской академии наук (ИНОЗ РАН), Санкт-Петербург; e-mail: adelmonamour@mail.ru

Целью настоящего исследования является:

– разработка математической модели формирования биогенной нагрузки на водосборе, позволяющей оценивать изменения выноса биогенных веществ в зависимости от оптимизации сельскохозяйственной деятельности;

– модельная оценка снижения нагрузки за счет использования наилучших доступных технологий (НДТ) обращения с органическими и минеральными удобрениями на примере водосбора реки Луги.

Интегральным показателем оптимизации деятельности сельхозпредприятий является использование в их деятельности наилучших доступных технологий (НДТ). 1 января 2015 года вступил в силу Федеральный закон Российской Федерации

№ 219-ФЗ от 21 июля 2014 года «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации”», предусматривающий внедрение наилучших доступных технологий (НДТ). Основные положения закона соответствуют принципам применения НДТ в странах ЕС. Применительно к сельскохозяйственному производству внедрение НДТ включает оптимизацию следующих технологий [7, с. 22]: кормление животных; содержание животных; удаление, хранение, переработка навоза; использование органических удобрений. В разделах кормления животных и использования органических удобрений затрагиваются вопросы эффективного использования минеральных удобрений, которые должны стыковаться

с НДТ и вести к рациональному использованию питательных веществ. Средством количественной оценки эффективности внедрения НДТ может служить математическая модель формирования биогенной нагрузки на водосборе, описывающая интенсивность источников биогенных веществ и воздействие сельскохозяйственных технологий их на миграцию в пределах рассматриваемой территории.

Модель формирования биогенной нагрузки от точечных и рассредоточенных источников на водные объекты разработана на основе отечественного и зарубежного опыта моделирования выноса биогенных веществ с водосборных территорий, поступления биогенных веществ в водоемы [4, с. 253; 5, с. 50–59; 8, с. 337], а также рекомендаций ХЕЛКОМ по оценке нагрузки на водные объекты бассейна Балтийского моря [10, с. 80]. Основой разработки является модель формирования биогенной нагрузки на водные объекты *ILLM – Institute of Limnology Load Model* [5, с. 50–59], разработанная в Институте озерадения РАН – ИНОЗ РАН и модифицированная в соответствии с требованиями решаемой задачи, а также метод оценки биогенной нагрузки, сформированной сельхозпредприятиями, предложенный специалистами Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – ИАЭП [7, с. 22].

Модель предназначена для количественной оценки биогенной нагрузки, сформированной точечными и рассредоточенными источниками загрязнения, и прогнозом ее изменения под влиянием возможных антропогенных и климатических изменений. Модель ориентирована на существующие возможности информационного обеспечения со стороны системы государственного мониторинга водных объектов Росгидромета, а также структур государственной статистической отчетности о сбросах сточных вод и сельскохозяйственной деятельности на водосборах РФ.

Нагрузка общим фосфором и общим азотом на водоем-водоприемник (L) со стороны водосбора рассчитывается как сумма биогенной нагрузки на гидрографическую сеть водосбора, сформированную сельхозпредприятиями (L_{agr}), и нагрузку, сформированную естественными и антропогенными ландшафтами, не подверженными в настоящее время сельскохозяйственному воздействию (L_c). Кроме того, в формировании нагрузки принимают участие точечные источники загрязнения, сбрасывающие свои стоки в гидрографическую сеть

(L_{pl}) и непосредственно в водоем-водоприемник (L_{p2}):

$$L = (L_{agr} + L_c + L_{pl})(1-R) + L_{p2}, \quad (1)$$

где R – безразмерный коэффициент удержания гидрографической сетью водосбора. Все остальные члены уравнения (1) имеют размерность [т/год].

Нагрузка, сформированная на полях сельхозпредприятий, рассчитывается по методу, предложенному специалистами ИАЭП [7, с. 22] для использования в условиях северо-запада России. Расчетная зависимость имеет следующий вид:

$$L_{agr} = \frac{K_2 K_3 K_4 K_5}{1000} \times \sum_i A_i (M_{soil i} K_1 + (\alpha_1 M_{min i} + \alpha_2 M_{org i}) K_6) \quad (2)$$

где $M_{soil i}$, $M_{min i}$ и $M_{org i}$ – содержание биогенного вещества в пахотном слое почвы, а также дозы внесения минеральных и органических удобрений на поля i -го сельхозпредприятия [кг/га]; A_i – площадь угодий i -го сельхозпредприятия [га]; α_1 – коэффициент, учитывающий усвоение минеральных удобрений сельхозкультурами; α_2 – коэффициент, учитывающий усвоение органических удобрений сельхозкультурами; K_1 – коэффициент, характеризующий вынос биогенных веществ из пахотного слоя почв; K_2 – коэффициент удаленности контура сельскохозяйственных угодий от гидрографической сети; K_3 – коэффициент, характеризующий тип почв (по происхождению); K_4 – коэффициент, характеризующий механический состав почв; K_5 – коэффициент, учитывающий структуру сельхозугодий, т.е. соотношение площадей пашни, многолетних трав, лугов, пастбищ; K_6 – коэффициент, учитывающий использование наилучших доступных технологий (НДТ) применения органических и минеральных удобрений. Все коэффициенты безразмерные, их значения, рекомендованные для использования при расчетах биогенной нагрузки с сельхозугодий северо-запада России, приведены в табл. 1.

Рассредоточенная нагрузка от естественных и антропогенных ландшафтов, не подверженных в настоящее время сельскохозяйственному воздействию (L_c – в формуле (1)) формируется за счет эмиссии биогенных веществ из почв и атмосферных выпадений на поверхность водосбора. Расчетная зависимость имеет вид:

$$L_c = \sum_j C_j y_j A_j / 1000, \quad (3)$$

где C_j – средние концентрации биогенного вещества в стоке с j -го типа подстила-

**Значения коэффициентов
для уравнения (1)**

Коэффициент	$N_{\text{общ}}$	$P_{\text{общ}}$
α_1	0,3	0,03
α_2	0,1	0,02
K_1	0,03	0,008
K_2 (от 50 до 500 м)	0,6	0,6
K_2 (от 500 до 2000 м)	0,2	0,2
K_2 (более 2000 м)	0,1	0,1
K_3 (дерново-подзолистые почвы)	1	1
K_3 (карбонатные почвы)	1,2	1,4
K_3 (торфянистые почвы)	0,8	1
K_4 (тяжелые глинистые и суглинистые почвы)	1	1
K_4 (легкие супесчаные и песчаные почвы)	1,8	2
K_5 (крупный рогатый скот)	0,46	0,37
K_5 (растениеводство)	0,88	0,76
K_5 (птицеводство)	0,46	0,37
K_5 (свиноводство)	0,46	0,37
K_6 (без НДТ)	1	1
K_6 (с использованием НДТ)	0,25	0,1

ющей поверхности [$\text{мг/дм}^3 = \text{г/м}^3$], y_j – слой стока с рассматриваемых типов подстилающей поверхности [мм/год], A_j – площади рассматриваемых типов подстилающей поверхности [км^2]. Ориентировочные значения C_j , экспериментально полученные в условиях северо-запада России и востока Финляндии, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрации [мг/дм^3], $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в первичных звеньях гидрографической сети для различных типов подстилающей поверхности [1, с. 166–171; 2, с. 81–87; 11, с. 95–107]

Подстилающая поверхность	Поля и луга*	Естественные леса и болота	Урбанизированная территория	Смешанные и заброшенные земли
$P_{\text{общ}}$	0,08	0,05	0,20	0,12
$N_{\text{общ}}$	3,1	0,7	2,3	1,4

* За исключением используемых в настоящее время сельхозугодий

Достаточно высокие значения концентраций биогенных веществ в стоке с урбанизированных территорий представляют вклад рассредоточенного сельского населения, не имеющего подключения к канализационным сетям и очистным сооружениям, в биогенную нагрузку на водосбор. Аналогичный подход к оценке влияния рассредоточенного сельского населения на формирование нагрузки использован в работе специалистов из Германии [9, с. 111–122].

Очевидно, что для оценки нагрузки от точечных источников, расположенных на крупных водосборах, необходим значительный объем исходной информации о произведенной продукции, технологических особенностях производства, водопотреблении, технологии очистки сточных вод и т.д. При этом объемы, состав и динамика сбросов загрязненных сточных вод определяются технологическими, социально-экономическими и другими факторами, не всегда имеющими научное объяснение. Естественно возникновение трудностей при сборе такого рода данных и выполнении последующих расчетов. Поэтому, как правило, при разработке моделей формирования нагрузки на водные объекты вклад точечных источников описывается приближенно на основе официальной отчетной статистической информации о проведенных сбросах и в соответствии с официальными перспективными планами совершенствования системы очистки сточных вод на рассматриваемых предприятиях. Несанкционированные и нерегулярные сбросы могут быть учтены только при наличии достоверной информации, что случается крайне редко. В настоящее время основным официальным источником информации о сбросах сточных вод являются статистические формы 2ТПВодхоз Министерства природных ресурсов и экологии. Данные, содержащиеся в этих формах, приводятся с годовым осреднением, что накладывает соответствующие ограничения на расчетные схемы и математические модели, в которых эти данные используются.

Как правило, большая часть биогенных веществ, поступивших на водосбор от различных источников, не достигает замыкающих створов крупных рек, так как удерживается различными звеньями гидрографической сети. Для расчета коэффициента удержания R в формуле (1) используются следующие эмпирические формулы [5, с. 50–59; 9, с. 111–122; 8, с. 337]:

$$R = \left(1 - \frac{1}{1 + aq^b}\right), \quad (4)$$

где q – модуль стока [$\text{л/км}^2 \text{сек}$]; a и b – безразмерные эмпирические параметры, значения которых приведены в табл. 3. Значение модуля стока q связано со слоем стока y [мм/год] эмпирическим соотношением $q = 0,03171y$.

**Значения эмпирических параметров
в формуле (4) [9, с. 111–122]**

Вещество	Площадь водосбора	a	b
P	Для всех водосборов	26,6	-1,71
	<1000 км ²	41,4	-1,93
	1000 – 10000 км ²	21,7	-1,55
	>10000 км ²	28,9	-1,80
N	Для всех водосборов	6,9	-1,10
	<1000 км ²	3,5	-1,01
	1000 – 10000 км ²	5,8	-0,96
	>10000 км ²	7,9	-1,03

С использованием уравнения (4) оценивается удержание химических веществ русловой сетью в зависимости от характеристик стока и размеров водосбора. Для определения гидрологических характеристик водосбора (слоя стока, расхода воды) заданной вероятности превышения могут быть использованы их аналитические или эмпирические кривые распределения. Альтернативным способом определения гидрологических характеристик, влияющих на формирование биогенной нагрузки на водные объекты, является использование гидрологической модели, позволяющей рассчитывать слой стока и расходы воды в зависимости от конкретных гидрометеорологических параметров [4, с. 253]. Последующее использование статистического генератора метеоэлементов (модели погоды) в качестве генерирования продолжительных рядов осадков и температуры воздуха, а затем их использования в качестве входной информации при моделировании стока, позволит рассчитать функции распределения стоковых характеристик, как это делается, например, в работе [6, с. 36].

Фоновая (естественная, природная) нагрузка биогенными веществами формируется за счет их выноса с необрабатываемых земель и части выноса с обрабатываемых земель, которая происходит независимо от сельскохозяйственной деятельности. Для оценки фонового выноса биогенных веществ в соответствии с рекомендациями ХЕЛКОМ [10, с. 80] можно использовать следующие подходы:

- использование математических моделей;
- мониторинг небольших естественных водосборов.

При проведении расчета фоновой нагрузки на водосбор из рассмотрения исключаются все антропогенные источники загрязнения (точечные сбросы, внесение минеральных и органических удобрений, эмиссию с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий). Таким обра-

зом, фоновая составляющая биогенной нагрузки на водный объект L_{nat} [т/год], сформированная естественными источниками, определяется следующим образом:

$$L_{nat} = (1 - R)C_{nat} y A / 1000, \quad (5)$$

где C_{nat} – средняя концентрация биогенного вещества в стоке с естественной подстилающей поверхности [мг/дм³], y – слой стока [мм/год], A – общая площадь водосбора [км²].

С использованием предложенной модели выполнены расчеты биогенной нагрузки на Финский залив, сформированной на водосборе р. Луги. Луга является третьим по площади водосбора и стоку притоком Российской части Финского залива и протекает по южной части водосбора залива. Площадь водосбора в створе г. Кингисепп составляет 12200 км², его схема представлена на рис. 1.

Водосбор р. Луга находится на Русской равнине, густота речной сети здесь достигает 0,70 км/км². Это обширная волнистая моренная равнина с группами моренных холмов и плоских озёрно-ледниковых впадин. Древние ложбины стока заняты руслами рек. Междуречные пространства заболочены, болота занимают в среднем 15% территории. Почвообразовательный процесс способствует выносу органического вещества и биогенных элементов с водосбора в гидрографическую сеть, но моренный рельеф и наличие озёрно-ледниковых впадин приводят к удержанию мигрирующих в ландшафте веществ в пределах водосборов.

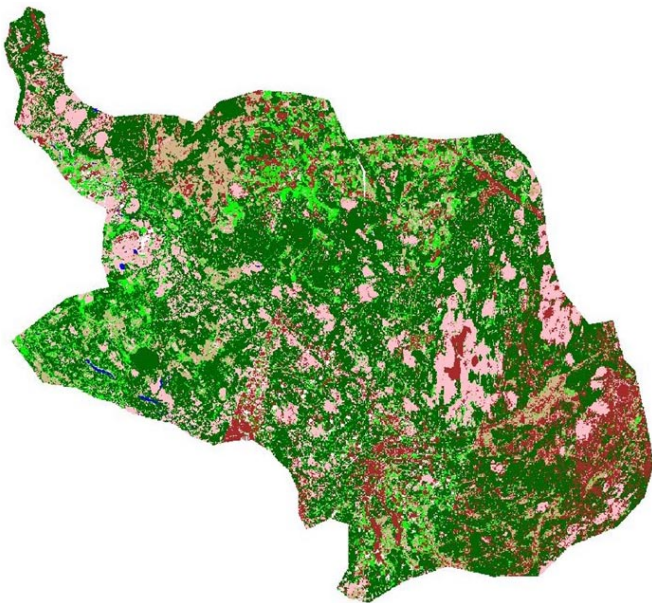
Нагрузка от точечных источников по данным 2ТПВодхоз в 2013 г. на водосборе р. Луги составила 72,6 тР/год и 244,5 тN/год.

Расчет рассредоточенной биогенной нагрузки, сформированной на сельхозпредприятиях и в личных подсобных хозяйствах, выполнен специалистами ИАЭП на основе использования уравнения (2). Результаты расчетов этой составляющей антропогенной нагрузки представлены в табл. 4, из которой следует, что в результате внедрения НДТ в сельскохозяйственном производстве нагрузка от сельхозпредприятий на гидрографическую сеть водосбора снизится от 94,33 тР/год и 1738,8 тN/год до 87,77 тР/год и 1505,8 тN/год, т.е. на 7,0% и 13,4% соответственно относительно современного уровня. Полученные данные использовались затем в качестве входной информации для выполнения последующих расчетов суммарной нагрузки на основе изложенной выше модели.

Результаты расчетов, представленные в табл. 4, получены на основе исходных данных по официальной статистике за 2014 год и применения частных методик.



Рис. 1. Схема водосбора р. Луги



Тип	Цвет
1	Dark Green
2	Light Green
3	Bright Green
4	Pink
5	Red
6	Blue

Рис. 2. Результаты идентификации типов подстилающей поверхности водосбора реки Луга, Landsat-8, 2014–2015 гг. (1 – лес; 2 – поле; 3 – луг; 4 – болото; 5 – урбанизированные зоны, свалки и заброшенные земли; 6 – вода)

Результаты расчёта биогенной нагрузки сельхозпредприятиями на гидрографическую сеть водосбора р. Луги в современных условиях и в предположении об использовании НДТ обращения с органическими и минеральными удобрениями

Наименование предприятия	Тип	Численность животных	Площадь, га	N, т/год	P, т/год	N (НДТ), т/год	P (НДТ), т/год
ЗАО «ПЗ «Ленинский путь»	КРС	1863	2363	17,2	1,11	14,9	1,04
ЗАО ПЗ Торосово	КРС	1722	1745	12,9	0,83	11,0	0,77
ЗАО Сумино	КРС	1730	1255	9,6	0,60	8,0	0,55
ЗАО Кикерино	КРС	133	85	0,7	0,04	0,6	0,04
ФГУ ГЗ Северо-Западная МИС	Р		233	3,8	0,22	2,9	0,21
ЗАО «Агрокомплекс Ордеж»	П	1157324	2990	75,2	4,12	63,4	3,76
ЗАО Орлинское	КРС	1405	1000	25,1	1,35	21,2	1,25
СПК «Мичуринский»	Р		700	33,9	1,92	26,4	1,80
ОАО «Новый мир»	КРС	73	50	1,6	0,10	1,3	0,09
ООО «Правда»	КРС	872	883	26,3	1,71	22,4	1,55
СПК «Оредежский»	КРС	1513	2758	78,8	5,25	69,0	4,85
ЗАО «Новое время»	КРС	950	1133	27,7	1,56	23,8	1,42
ООО «Шереметьево»	КРС	854	1476	63,4	4,02	55,5	3,71
ЗАО «Скреблово»	КРС	1547	2987	70,9	4,06	62,2	3,75
ЗАО ПЗ «Рапти»	КРС	2173	2000	50,0	2,79	42,3	2,52
ЗАО ПЗ «Рапти»	СВ	1600	766	17,5	1,03	15,8	0,96
ЗАО Искра	КРС	517	1039	23,9	1,35	21,5	1,30
ЗАО Черново	КРС	1658	1334	39,5	2,51	33,7	2,34
ЗАО Гатчинское	КРС	1464	1463	42,4	2,72	36,8	2,56
ЗАО «ППФ Войсковницы»	П	809000	1600	50,2	3,16	41,2	2,82
ОАО «ПЗ Пламя»	КРС	2575	2000	14,9	0,94	12,7	0,88
ОАО «ПЗ Пламя»	СВ	7822	1247	8,5	0,57	7,7	0,55
ЗАО Нива – I	Р		2320	37,5	2,22	29,2	2,09
ГУ ОПХ Суйда	КРС	513	2108	56,8	3,79	51,9	3,68
ООО «Семеноводство»	Р		146	14,2	0,39	11,0	0,37
ЗАО «Прибрежное»	КРС	1005	1990	87,3	5,42	75,2	4,99
АНО «Новая жизнь»	Р		18	0,3	0,01	0,2	0,01
ЗАО «Падога»	Р		60	3,2	0,08	2,5	0,08
ЗАО «Котельское»	КРС	2629	3584	26,8	1,72	22,7	1,58
ООО «Калливери»	Р		1	0,0	0,00	0,0	0,00
ЗАО «Ополье»	КРС	2712	3556	26,6	1,71	22,6	1,56
ЗАО «ПЗ «Агро-Балт»	КРС	3301	4726	35,2	2,27	29,9	2,08
ЗАО Ущевицы	КРС	1190	1610	11,7	0,75	10,1	0,71
ОАО Труд	КРС	1989	2913	21,0	1,36	18,3	1,28
ОАО Остроговицы	КРС	2379	2870	20,9	1,35	18,1	1,26
ГП ОПХ Калозицы	КРС	1379	2407	17,1	1,12	15,1	1,05
ОАО СП «Сяглицы»	КРС	470	808	5,8	0,38	5,1	0,35
ООО «Семена Северо-Запада»	Р		520	6,7	0,24	6,1	0,23
ЗАО Октябрьское	Р		850	11,0	0,38	10,0	0,37
ЗАО Гомонтово	КРС	2873	3276	24,0	1,54	20,7	1,44
ООО «АгроИнтер»	Р		30	0,4	0,01	0,4	0,01
ЗАО ПЗ Рабитицы	КРС	3372	3269	24,3	1,55	20,7	1,44
ОАО «Ударник»	КРС	2319	2920	21,2	1,37	18,4	1,28
ООО «Волна»	КРС	657	500	15,3	0,96	12,8	0,88
ЗАО «Осьминское»	КРС	2080	2494	54,9	3,44	47,2	3,13
ОАО «Партизан»	КРС	1584	1566	70,0	4,35	59,5	3,94
Прочие хозяйства		7115	42678	452,9	15,95	404,2	15,24
Сумма			118327	1738,8	94,33	1505,8	87,77

КРС – крупный рогатый скот, СВ – свиноводство, Р – растениеводство, П – птицеводство

98 Важным показателем при расчете биогенной нагрузки, сформированной сельхозпроизводством, является содержание $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в навозе, образующимся при ведении животноводства и птицеводства. Поэтому расчеты, представленные в табл. 4 произведены по методике определения годового выхода навоза/помета и его качественных характеристик, учитывающей современных технологий содержания животных и систем удаления навоза [3, с. 78–85].

Существенные проблемы при моделировании выноса биогенных веществ с крупных водосборов возникают в связи с необходимостью достоверного определения площадей различных типов подстилающей поверхности, которые характеризуются различными значениями эмиссии азота и фосфора в стекающие дождевые и талые воды, а также используются при вычислении значений L_c в уравнении (1). В настоящей работе для оценки указанных площадей применялись данные космической съемки, находящиеся в режиме свободного доступа. Использование архива снимков космического аппарата (КА) Landsat-8 Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey) [http://earthexplorer.usgs.gov] обусловлено двумя обстоятельствами: КА Lansat – 8 – современная космическая система среднего пространственного разрешения, доступ к этому архиву является бесплатным. В архиве представлена весьма обширная коллекция съемки, включая и территорию России.

Идентификация различных типов подстилающей поверхности водосбора реки Луга проведена по данным КА Landsat-8 30-метрового пространственного разрешения для рассматриваемого водосбора в период малооблачной погоды (менее 20%) 2014–2015 гг. Процедура идентификации представляла собой распознавание интересующих объектов с применением различных методов обработки спутниковых снимков. В настоящей задаче использовался метод классификации, представляющий собой процесс отнесения изображенных на снимке пикселей к определенному классу с помощью выделения существенных спектральных, геометрических и текстурных признаков, характеризующих эти объекты. Для распознавания типов поверхностей использовались данные семи каналов КА Landsat-8 (видимого и ближнего инфракрасного диапазонов съемки). Идентифицировались следующие типы подстилающей поверхности в соответствии с легендой (рис. 2): 1 – леса; 2 – поля; 3 – луга; 4 – болота; 5 – урбанизированные зоны, свалки и заброшенные территории; 6 – водные объекты.

Белым цветом обозначены участки облачности. Результаты количественной оценки площадей для всех идентифицированных типов подстилающей поверхности, которые использовались в расчетах по модели, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Площади различных типов подстилающей поверхности водосбора реки Луги, полученные в результате дешифрирования космических снимков

Тип подстилающей поверхности водосбора	Площадь, км ²
Леса	7195,7
Поля	1963,1
Луга	1260,1
Болота	2661,4
Урбанизированные зоны, свалки, заброшенные земли	1396,6
Водная поверхность	263,5

Расчитанная по модели биогенная нагрузка на Финский залив, сформированная на водосборе реки Луги, составляет 269,0 тР/год и 4192,8 тN/год (табл. 6). При этом фоновая компонента нагрузки составляет 130,8 тР/год и 1823,7 тN/год Сравнение результатов моделирования с данными мониторинга СЗУ Росгидромета на реке Луге (створ г. Кингисепп) показывает удовлетворительное соответствие (табл. 6). Как было показано ранее (табл. 2) в результате внедрения НДТ в сельскохозяйственном производстве нагрузки от сельхозпредприятий на гидрографическую сеть водосбора снизится на 6,56 тР/год и 233,0 тN/год. Однако на суммарный вынос биогенных веществ со стоком реки Луги и нагрузки на Финский залив влияние НДТ будет еще менее заметным – всего лишь на 3,9 т/год по фосфору и 139,7 т/год по азоту. Что объясняется влиянием на результаты моделирования коэффициента удержания R , входящего в уравнение 1.

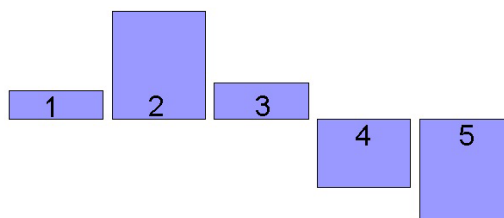


Рис. 3. Факторы, определяющие фосфорный сток Луги: 1 – нагрузка от точечных источников (72.6 тР/год), 2 – рассредоточенная эмиссия с поверхности без учета сельхозугодий (279.9 тР/год), 3 – нагрузка с сельхозугодий (94.3.0 тР/год), 4 – удержание гидрографической сетью (177.8 тР/год), 5 – вынос в Финский залив (269.0 тР/год)

Таблица 6

Вынос $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ (т/год) р. Лугой (створ г. Кингисепп) и рассчитанная биогенная нагрузка на Финский залив, сформированная на водосборе Луги

	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$
Нагрузка 2012 г. по данным СЗУ Росгидромета	524	4417
Нагрузка 2013 г. по данным СЗУ Росгидромета	137	4086
Рассчитанная по модели нагрузка для средней водности года	269,0	4192,8
Рассчитанная нагрузка с применением НДТ для средней водности года	265,1	4053,1
Рассчитанная фоновая нагрузка для средней водности года	130,8	1823,7

Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что внедрение НДТ в сельскохозяйственное производство на водосборе Луги не позволит кардинально снизить нагрузку на Финский залив со стороны изучаемого объекта. Сравнительная оценка основных факторов, определяющих вынос фосфора с водосбора Луги, показана на рис. 3, из которого видно, что наибольший вклад в нагрузку вносит эмиссия фосфора с поверхности водосбора, не подверженной сельхоз обработке. Кроме того, вынос биогенных веществ с действующих сельхозугодий определяется, согласно уравнению (2), не только внесением органических и минеральных удобрений, но и накопленным за много лет запасом биогенных веществ в почве.

Список литературы:

- [1] Алябина Г.А., Сорокин И.Н. Миграция фосфора и органического вещества в системе «водоем–водосборная площадь» // Экологическая химия. – 1997, № 6 (3). – С. 166–171.
- [2] Алябина Г.А., Сорокин И.Н. Особенности формирования внешней нагрузки на водные объекты в урбанизированных ландшафтах // Изв. РГО. – 2001, № 133 (1). – С. 81–87.
- [3] Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета // Молочнохозяйственный вестник. – 2014, № 1 (13). – С. 78–85.
- [4] Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: Наука, 2007. – 253 с.
- [5] Кондратьев С.А., Казмина М.В., Шамова М.В., Маркова Е.Г. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты // Региональная экология. – 2011, № 3–4. – С. 50–59.
- [6] Кондратьев С.А., Шамова М.В., Уличев В.И. Детерминировано-стохастическое моделирование стока и биогенной нагрузки на водные объекты (на примере Финского залива Балтийского моря). – СПб.: Нестор-История, 2013. – 36 с.
- [7] Разработать методику и выполнить расчет диффузной нагрузки азота, фосфора на водосбор при ведении сельскохозяйственной деятельности и потенциала ее снижения при использовании НДТ в сельском хозяйстве / Отчет о НИР. – ИАЭП РАН, 2015. – 22 с.
- [8] Behrendt H., Dannowski R. Nutrients and heavy metals in the Odra River system. – Weissensee Verlag Publ., Germany, 2007. – 337 p.
- [9] Behrendt H., Opitz D. Retention of nutrients in river systems: dependence on specific runoff and hydraulic load // Hydrobiologia. – 1999, № 410. – P. 111–122.
- [10] Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). – Helsinki: HELCOM, 2005. – 80 p.
- [11] Rekolainen S. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland // Aqua Fennica. – 1989, № 19 (2). P. 95–107.

Таким образом, в результате выполненного исследования достигнут определенный прогресс в развитии моделирования формирования биогенной нагрузки на речном водосборе, а именно – в решении одной из основных проблем моделирования природных систем – «переходе от точки к площади». В предложенной расчетной схеме проведено объединение модели формирования нагрузки на единичном сельхозпредприятии (аналог точечной модели) и модели формирования нагрузки на водосборе сложной структуры и значительной площади.

На примере водосбора р. Луги показано, что большая часть нагрузки на изучаемом объекте формируется за счет высокого содержания биогенных веществ в почвах, подвергающихся или ранее подвергавшихся антропогенному воздействию (действующие и заброшенные поля, свалки, урбанизированные территории и др.). Указанный фактор воздействия на биогенную нагрузку можно отнести к категории «накопленного экологического ущерба». На улучшение ситуации за счет естественного выноса биогенных веществ со стоком может уйти несколько десятилетий.

Использование НДТ в сельскохозяйственном производстве оказывает максимальное позитивное воздействие на состояние локальных водных объектов, расположенных в непосредственной близости от удобряемых полей. По мере увеличения площади водосбора и удаления расчетного створа от конкретного объекта, где внедряются НДТ, достигнутое снижение нагрузки становится все менее заметным.