



УДК 551.482 (476)

Е.Г. Кольмакова, О.И. Маслова, С.В. Гриб

БИОГЕННЫЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АГРОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ВОДОСБОРОВ

Изложены результаты оценки выноса биогенных веществ речным стоком в бассейне Западной Двины на территории Беларуси. Выполнен анализ миграции биогенных веществ по длине магистральной реки. Впервые представлены картографические модели выноса азота аммонийного, азота нитратного, фосфора общего с площади водосборов рек бассейна Западной Двины. Показана зависимость удельного выноса биогенных веществ речным стоком от уровня сельскохозяйственной нагрузки на водосборе.

Введение

Сток растворенных веществ рек представляет собой интегральную характеристику процессов формирования химического состава поверхностных вод. В естественных условиях он определяется интенсивностью физико-химических и биологических процессов, активно протекающих в зоне контакта водной массы и коры выветривания; в условиях техногенеза его фоновые значения претерпевают значительные изменения.

Дополнительное привнесение человеком в агроландшафты биогенных компонентов способствует усилению выноса азота и в меньшей степени фосфора с поверхностной и подземной составляющей стока. Поверхностный смыв с сельскохозяйственных угодий – сезонный источник нагрузки, действующий преимущественно в вегетационный период (на весенний период приходится 60–70 % годового выноса биогенных веществ, на осень – 6–15 %) [1]. Осушительная мелиорация также вызывает усиление химической денудации, что приводит к усилению поступления в речную сеть продуктов агротехногенеза. Биогенные элементы привносятся также со стоками животноводства. В итоге величина биогенного стока рек выступает одним из показателей агрохозяйственного освоения водосбора.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта исследования нами рассмотрены водотоки бассейна Западной Двины, значительная часть водного и химического стока которых формируется на территории Беларуси в условиях доминирования агрохозяйственного освоения водосбора. В качестве расчетных использованы створы, обеспеченные достаточной гидрохимической и гидрологической информацией, химический состав вод которых отражает ландшафтно-геохимические особенности дренируемых ими водосборов: р. Западная Двина – пгт Сураж, р. Западная Двина – г. Витебск, р. Западная Двина – г. Полоцк, р. Западная Двина – г. Новополоцк, р. Западная Двина – г. Верхнедвинск, р. Улла – г. Чашники, р. Оболь – пгт. Оболь, р. Полота – г. Полоцк, р. Дисна – пгт. Шарковщина.

Оценка валового выноса биогенных веществ осуществлена с использованием среднегодовых концентраций химических веществ по данным ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» и среднегодовых расходов воды по данным ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» за 2001–2005 гг. по общепринятой методике [2]. В качестве биогенных показателей рассмотрены азот нитратный, азот аммонийный, фосфор общий.

Следует отметить, что в гидрохимической практике при оценке выноса химических веществ речным стоком учитывают вклад части бассейна, не охваченной режимны-



ми наблюдениями [3]. Химический сток рек, как известно, в пределах одного бассейна в сходных физико-географических условиях, в значительной мере определяется величиной самой водосборной территории. В связи с этим, при отсутствии ниже расчетного створа крупных источников загрязнения, водная составляющая для приведения величины химического стока от расчетного створа к устью откорректирована путем введения поправочного коэффициента в соответствии с неучтенной водосборной площадью.

Наиболее удобной формой представления результатов расчетов стока растворенных веществ рек выступает не валовой вынос химических веществ, а величина выноса с единицы площади. Модуль стока является универсальной характеристикой, которая выступает в качестве меры интенсивности антропогенного воздействия на водосборе.

При оценке выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий следует иметь в виду, что основная их часть поступает в составе склонового стока с площадей, непосредственно примыкающих к руслам водотоков, что связано с тяготением сельскохозяйственного производства и поселений к речным долинам. Поскольку поверхностный сток с сельскохозяйственных земель не контролируется, он рассматривался нами как диффузный источник загрязнения, а животноводческие комплексы, воды которых частично подвергаются очистке, – в качестве точечных.

Использование удобрений на полях и их смыв, наряду со сбросом нормативно-чистых вод ЖКХ, приводят к постепенной смене естественного гидрохимического фона в пределах гидрокарбонатно-кальциевого класса вод [4]. Для оценки изменений и факторов динамики биогенного выноса помимо водности рек, концентрации химических веществ, распаханности территорий привлекались данные о количестве вносимых удобрений, размерах поголовья скота и птицы в пересчете на кормовые единицы, плотности сельских жителей, доле осушенных земель. Данные о внесении минеральных удобрений и плотности условных голов скота переведены в удельные единицы в расчете на 1 км² площади водосбора, а плотность сельского населения рассчитана на 1 км² пашни в пределах водосбора.

В целом, значение природного регионального фона выноса азота общими реками Беларуси составляет $1,55 \times 10^{-3}$ кг/м³, в том числе азота аммонийного – $0,46 \times 10^{-3}$, азота нитратного $1,09 \times 10^{-3}$ кг/ м³ [5]. Усредненные показатели удельного выноса биогенных веществ притоками Западной Двины по результатам выполненной нами оценки за 2001–2005 гг. отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Среднегодовой удельный вынос биогенных веществ притоками Западной Двины с площади водосборов (2001–2005 гг.), кг/км²

Реки	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P _{общ}	$\frac{N_{общ}}{P_{общ}}$	$\frac{NO_3^-}{NH_4^+}$
Витьба	84,4	61,1	20,3	7,17:1	0,7:1
Ушача	128,8	88,6	17,7	12,28:1	1,5:1
Дрисса	131,1	82,6	17,5	12,21:1	1,6:1
Улла	47,7	55,0	19,1	5,38:1	0,9:1
Оболь	80,6	102,9	20,5	8,95:1	0,8:1
Дисна	93,6	70,3	14,6	11,23:1	1,3:1
Полота	162,9	84,3	23,4	10,56:1	1,9:1

Анализ динамики удельного выноса биогенных веществ реками бассейна Западной Двины позволил выявить следующие закономерности. В верхнем течении Запад-



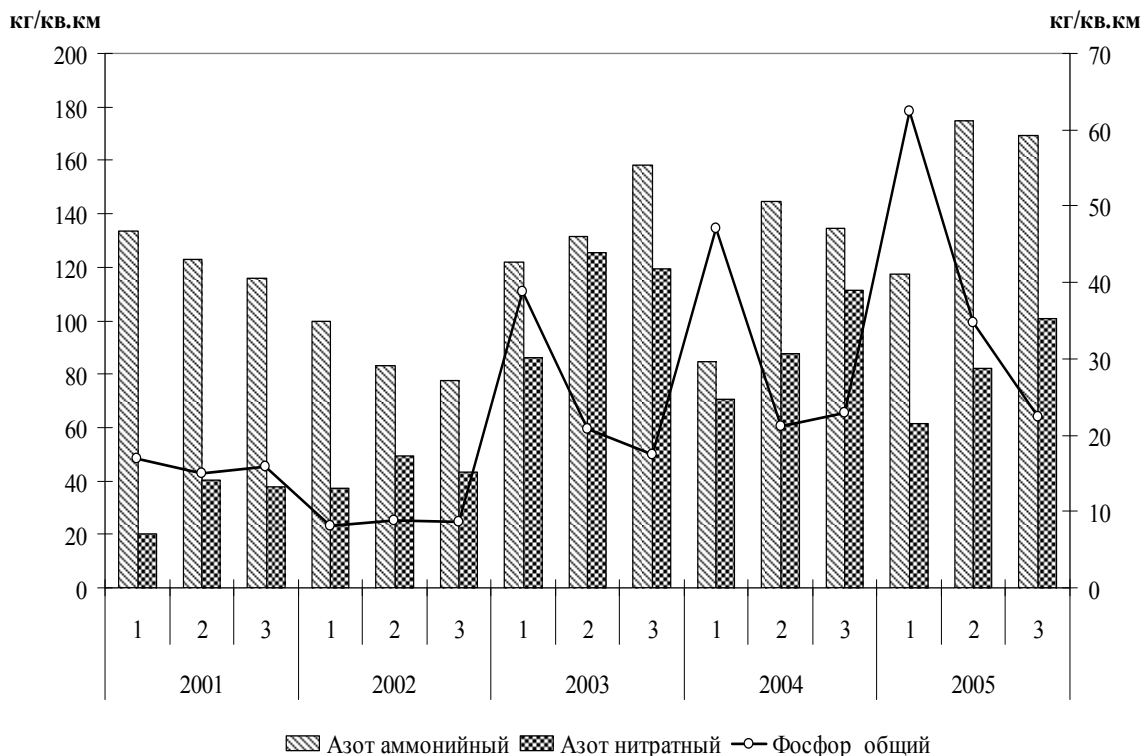
ной Двины (в створе выше г. Витебск), а также на притоках Улла и Оболь, наблюдалось снижение выноса биогенов речным стоком с трендом к его стабилизации. Ниже по течению (в створах г. Полоцк и г. Верхнедвинск) зафиксировано снижение выноса биогенов к 2003 году, с последующей тенденцией к увеличению.

Повышенный вынос азота аммонийного речным стоком в большинстве створов пришелся на 2001 год. Максимальный вынос азота аммонийного зарегистрирован в 2004 году в створе р. Полота – г. Полоцк (214,2 кг/км²), минимальный – в 2001 году (119,9 кг/км²).

В динамике выноса азота нитратного речным стоком выявлен рост с 2001 по 2003 гг. с последующим снижением. Так, в створе ниже г. Полоцк после поступления максимального количества азота нитратного в 2003 году (133,7 кг/км²), в последующие годы наблюдалось снижение показателей до 73,7 кг/км².

Минимальный сток фосфора общего зарегистрирован в большинстве створов в 2002 году. Например, в створе ниже г. Витебска в 2002 году годовое значение выноса опускается до отметки 6,2 кг/км². Максимальное значение зарегистрировано в 2003 году – 38,8 кг/км².

Анализ миграции химических веществ по длине магистральной реки Западная Двина позволил выявить некоторые закономерности формирования стока биогенных веществ на отдельных участках речного бассейна (рисунок 1).



Створы: 1 – р. Зап. Двина, пгт. Сураж, 2 – р. Зап. Двина, г. Полоцк,
3 – р. Зап. Двина, г. Верхнедвинск

Рисунок 1 – Динамика удельного выноса биогенных веществ магистральной рекой Западная Двина за 2001–2005 гг.



В 2001–2002 гг. привнос азота аммонийного с российской части водосбора превосходил показатели сложившегося регионального фона, в то время как в 2003–2005 гг. вынос азота аммонийного неизменно возрастал вниз по течению. Сток азота нитратного на протяжении рассматриваемого периода постепенно увеличивается вниз по течению за счет точечных источников загрязнения, расположенных в непосредственной близости от магистральной реки, и дополнительного поступления с площадным смывом с сельскохозяйственных угодий боковых притоков. Несколько иная ситуация сложилась с фосфором, максимальный вынос которого с водным стоком неизменно фиксируется именно на пограничной с РФ территории, ниже по течению модуль стока фосфора сохраняется стабильным либо неуклонно снижается [6].

С целью оценки пространственной структуры впервые для рек бассейна Западной Двины в пределах белорусской части водосбора созданы картографические модели выноса биогенных веществ речным стоком посредством ArcGIS (рисунки 2–4). При этом совокупность значений дифференцировалась на отдельные классы по методу равных интервалов, как это принято в гидрохимической практике [7].

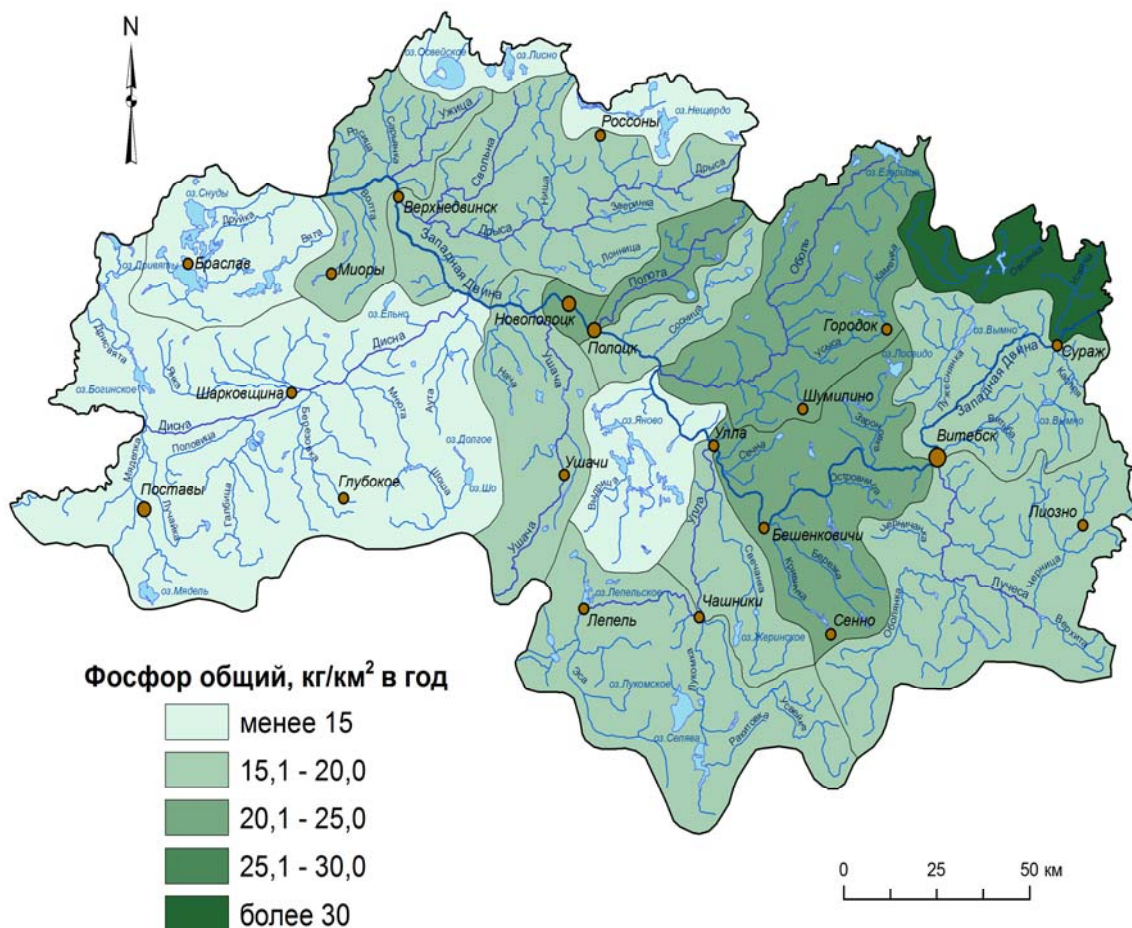


Рисунок 2 – Модуль стока фосфора общего с водосбора р. Западная Двина

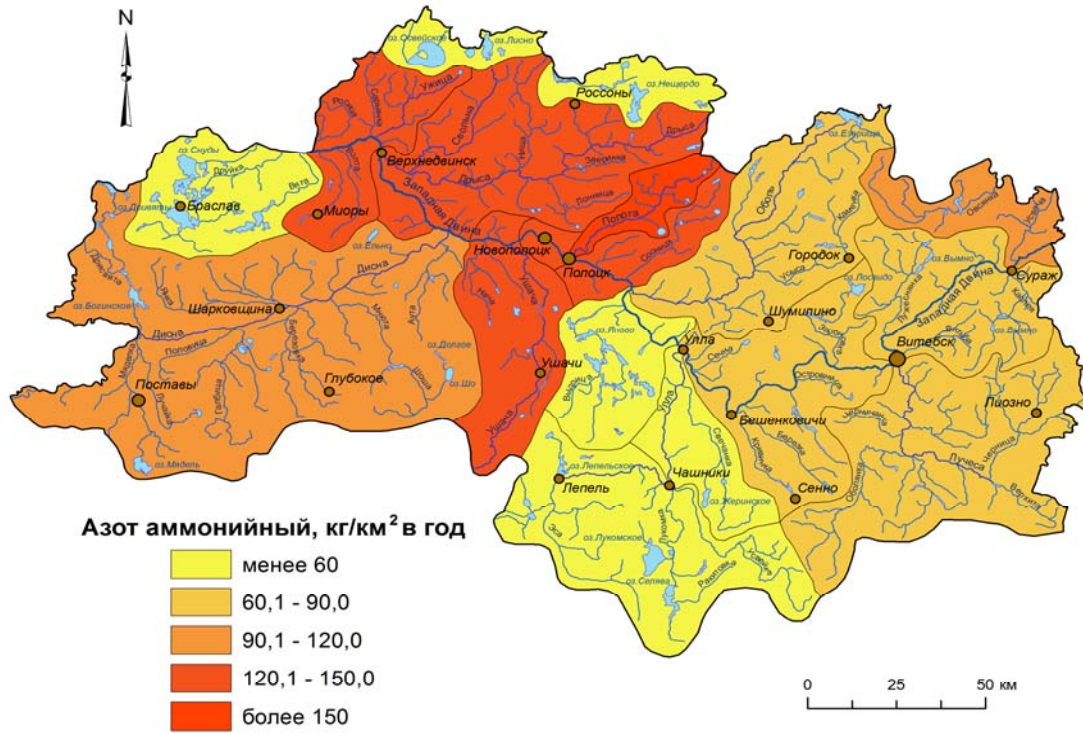


Рисунок 3 – Модуль стока азота аммонийного с водосбора р. Западная Двина

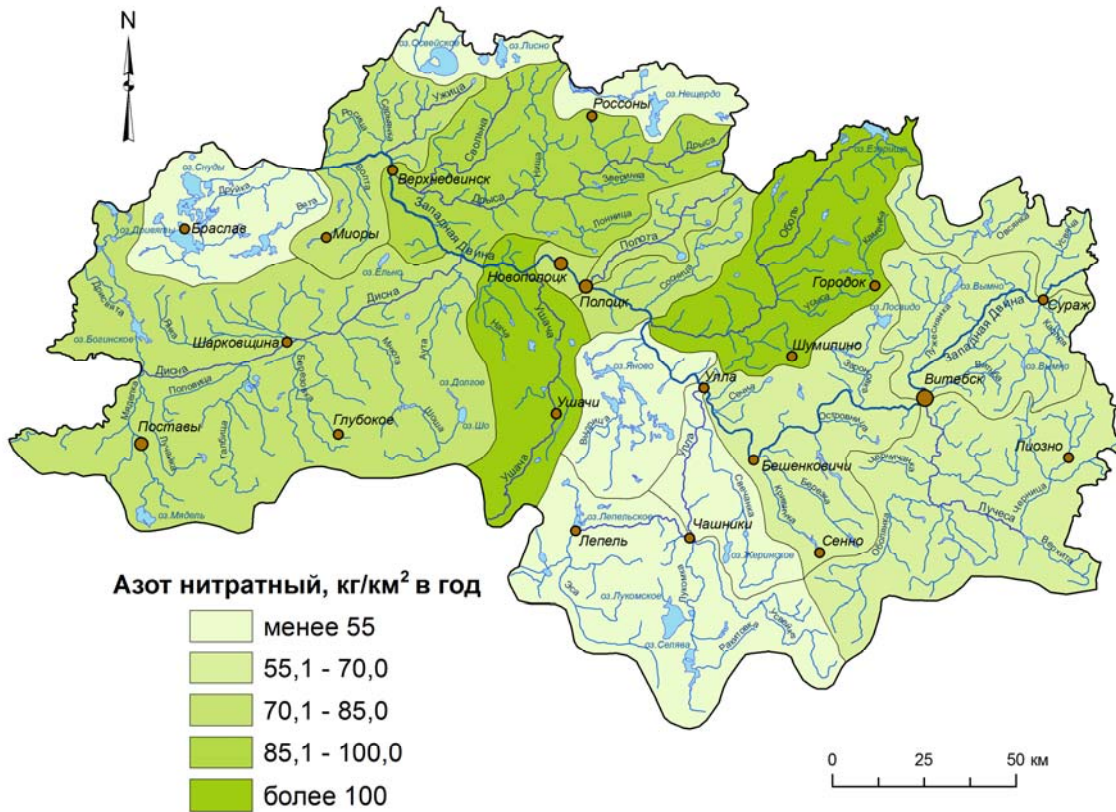


Рисунок 4 – Модуль стока азота нитратного с водосбора р. Западная Двина



Как показано на рисунке 2, наибольший среднегодовой вынос фосфора общего речным стоком осуществляется с водосбора р. Западная двина на участках выше г. Суража и ниже г. Витебска, рр. Полоты и оболи, наименьший – с водосборов озер ушачской и браславской групп.

Повышенным стоком азота аммонийного характеризуется р. Полота, а также участок магистральной реки западная двина ниже г. Полоцк до замыкающего створа; пониженным стоком – р. Улла и указанные озерные группы (см. Рисунок 3).

«лидерами» по выносу азота нитратного на современном этапе являются водотоки оболы и западная двина на участке ниже г. Полоцк, наименьшими показателями характеризуются рр. Улла, западная двина выше г. Витебск и озерные группы (см. Рисунок 4). Одной из причин их относительной чистоты является залесенность водосборов. Водотоки, протекая через лесные массивы, питаются относительно более чистыми грунтовыми водами, что способствует поддержанию естественного биогенного гидрохимического фона. Поэтому в реках лесных водосборов содержание нитратов колеблется в пределах 0,001–0,003 кг/м³, а в сельскохозяйственных водосборах весной – в 10–20 раз больше (0,015–0,020 кг/м³) [5].

Направление и интенсивность агрохозяйственного использования водосбора в значительной мере определяет состав выносимых речным стоком биогенных элементов. Это нашло отражение в нарушении отношения удельного выноса азота к фосфору, в качестве нормы которого условно принимается 5 : 1, что типично для р. Улла (см. таблица 1). Отклонение от нормального соотношения компонентов биогенного стока зафиксировано для рр. Витьба, Оболь (от 7 : 1 до 10 : 1), самое значительное – для рр. Ушача, Дрисса, Дисна, Полота (более 11 : 1 и более).

Как известно, с поверхностным стоком вымывается 0,01–2 % фосфора от вносимых удобрений и 0,3–10% азота, из которого на аммонийную форму приходится 2–10 %, нитратную – 90–98 % [5]. По расчётам авторов, с 1 га сельскохозяйственных угодий в речные воды бассейна в среднем поступает 0,4–0,6 кг фосфора в год только за счет внесенных удобрений. При этом величина смыва фосфора слабо зависит от состава почвогрунтов и не превышает 44 кг/км² в год. С неочищенными и недостаточно очищенными бытовыми стоками в Западную Двину поступает 1,1–2,2 кг/год фосфора в расчете на 1 сельского жителя. Таким образом, основные источники дополнительного поступления в водотоки фосфора – сточные воды промышленных и коммунально-бытовых предприятий в пределах селитебных участков, неочищенные стоки животноводческих комплексов.

Бассейн Западной Двины в белорусской части водосбора – регион интенсивного развития животноводства. На площади в 33 150 км² в настоящее время расположено 14 скотоводческих комплексов, 17 свиноводческих ферм и 5 крупных птицефабрик, в которых размещается более 57 тыс. голов крупного рогатого скота и 200 тыс. свиней, и 5,5 тыс. голов птицы. Степень влияния животноводческих ферм отражается в миграции в первую очередь азота аммонийного, вынос которого достигает 0,01–0,05 кг/сутки в расчете на условную голову скота.

Водосборы рек бассейна испытывают разную по интенсивности и происхождению биогенную нагрузку (рисунок 5). В верхнем течении Западной Двины (рр. Улла, Дисна, Витьба, Оболь, Лучеса и Друйка) значимым источником загрязнения является привнос загрязняющих веществ именно с животноводческих комплексов, поступающих в речное русло как прямоотком с поверхностным смывом, так и за счет инфильтрации в подземные воды. Указанные водосборы характеризуются довольно интенсивным сельскохозяйственным освоением и значительным выносом неусвоенных удобрений



с полей. Напротив, относительно низкая агрохозяйственная нагрузка характерна для водосборов рр. Дриссы, Полоты, Лучесы.

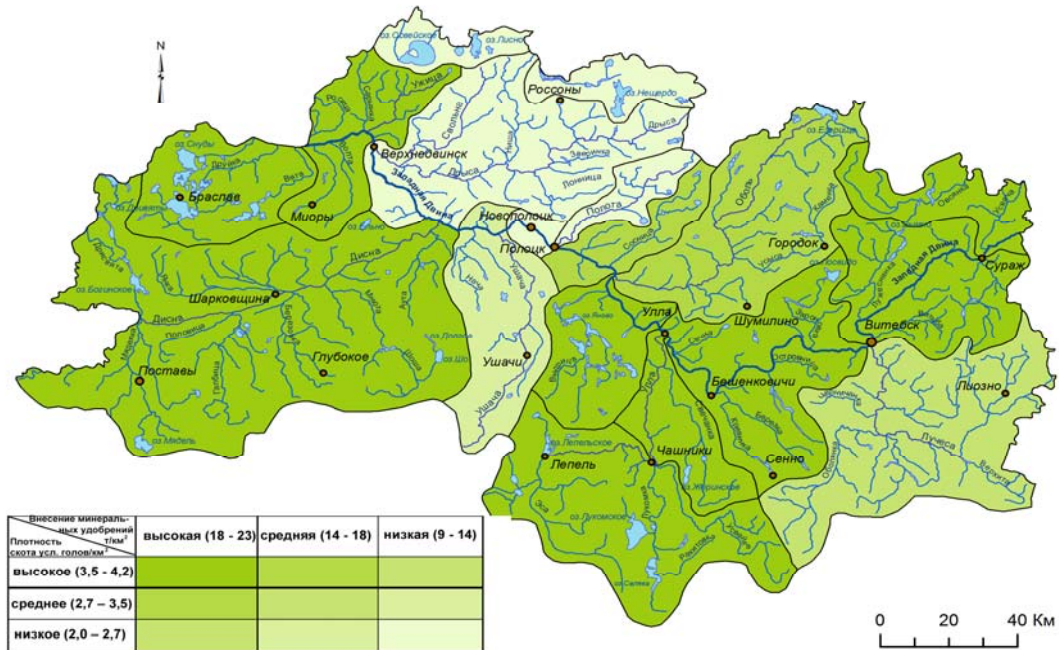


Рисунок 5 – Сельскохозяйственная нагрузка в водосборе р. Западной Двины

Характер использования водосборов рек бассейна представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Характер использования водосборов рек бассейна Западной Двины, по [8]

Водосбор реки	Преобладающие природно-антропогенные комплексы	
	класс	подкласс
Витьба	сельскохозяйственные	пахотные и лугово-пахотные
Ушача	сельскохозяйственные, лесные, рекреационные	пахотные, лесохозяйственные, лесо-водно-рекреационные
Дрисса	лесные, сельскохозяйственно-лесные	лесохозяйственные, лесоболотные, лесополевые, сенокосно-лесополевые
Улла	сельскохозяйственные, рекреационные	пахотные, пахотно-водно-рекреационные
Оболь	сельскохозяйственные,	пахотные, лугово-пахотные
Дисна	сельскохозяйственные, лесные, охраняемые	пахотные, лесохозяйственные, рекреационно-заповедные
Полота	лесные, сельскохозяйственные	лесохозяйственные, лесоболотные, пахотные
Лучеса	сельскохозяйственные, лесные	пахотные, лугово-пахотные, лесохозяйственные
Друйка	сельскохозяйственные, охраняемые	пахотные, рекреационно-заповедные



Для оценки влияния агрохозяйственной нагрузки на биогенный сток рек нами применялся факторный и кластерный анализы параметров условий формирования удельного выноса для группировки водосборов. Кластерный анализ позволил разделить водосборы бассейна Западной Двины на две группы с учетом их природных черт.

В первую группу вошли водосборы рр. Полота, Дрисса и Ушача с меньшей освоенностью (наличие сельскохозяйственно-лесных ландшафтов) и сельскохозяйственной нагрузкой при относительно низком удельном выносе биогенов речным стоком.

Вторую группу составили водосборы рр. Дисна, Улла и Витьба: для них характерны хорошо освоенные сельскохозяйственные и рекреационные ландшафты со значительной и средней агрохозяйственной нагрузкой с повышенным удельным выносом биогенов речным стоком. Характеристики водосбора р. Оболь не стабильны: в кластерном анализе по удельному выносу биогенных элементов рассматриваемая река относится ко второй группе, по сельскохозяйственной нагрузке – к первой, а по сумме параметров водосбор р. Оболь принадлежит к первой группе.

Факторный анализ позволил оценить степень влияния различных факторов агрохозяйственного освоения водосборов на вынос биогенов речными водами (таблица 3). Основным источником поступления рассматриваемых элементов является вынос неосвоенных минеральных удобрений. Значение имеют и неочищенные стоки животноводческих комплексов, поставляющих основную долю азота аммонийного и фосфора общего. Вынос азота нитратного в основном коррелирует с интенсивностью эксплуатации земель (по показателю плотности сельских жителей). Мелиоративное преобразование земель на современном этапе оказывает незначительное влияние на поступление биогенных компонентов в речную сеть.

Полученные данные свидетельствуют о значимом изменении структуры биогенного стока рек бассейна Западной Двины вследствие агрохозяйственного освоения водосборов как основного фактора его трансформации. Вынос биогенных элементов при активном аграрно-селитебном освоении водосборов и, как следствие, преобладании диффузных источников загрязнения зависит от следующих факторов: площади угодий, вида освоения, плотности поголовья скота, характера рельефа, режима стока, водности года, состава удобрений и технологии их внесения, состава почвогрунтов и интенсивности эрозионных процессов, наличия и масштаба мелиоративной сети. Географо-гидрохимический тип речного водосбора определяется, во-первых, гидрохимическими показателями водотоков, во-вторых, степенью преобразования естественных ландшафтов водосборов [9].

Таблица 3 – Результаты факторного анализа зависимости выноса биогенных веществ речным стоком от сельскохозяйственной нагрузки в водосборах Западной Двины

Биогенные вещества	Основные показатели агрохозяйственного освоения водосборов				
	плотность сельских жителей	плотность скота	доля освоенных земель	внесение минеральных удобрений	совокупность факторов
NH_4^+	0,797	0,949	0,103	0,912	0,914
NO_3^-	0,870	0,815	0,248	0,962	0,831
$\text{P}_{\text{общ}}$	0,819	0,908	0,151	0,946	0,617
$\text{N}_{\text{общ}} + \text{P}_{\text{общ}}$	0,822	0,917	0,153	0,967	0,951



Заклучение

Исходя из результатов исследований, а также с учетом известных работ [10], считаем целесообразным проведение следующих мероприятий, направленных на стабилизацию и улучшение качества поверхностных вод в бассейне:

1. Минимизация выноса фосфатов путем увеличения мощности очистных сооружений и применения эффективных методов очистки (например, осаждение фосфатов сульфатом алюминия).

2. Жесткое регламентирование организованного сброса и предотвращение сброса неочищенных сточных вод в речную сеть.

3. Сооружение и регулярная очистка прудов-поглотителей и прудов-отстойников ниже по течению от селитебных участков и животноводческих комплексов на малых реках.

4. Организация пахотного и пастбищного освоения пойм, отказ от их сельскохозяйственного освоения с учетом крутизны склонов.

5. Создание систем противозерозионных полос в местах интенсивного плоскостного смыва с прилегающей территории.

6. Отказ от сведения на мелководьях высшей водной растительности, активно поглощающей биогенные элементы.

7. Уточнение правил ведения хозяйственной деятельности на землях в пределах водоохранных зон и прибрежных полос в соответствии с «Положением о порядке установления размеров и границ ВЗ и ПП водных объектов и режиме ведения в них хозяйственной деятельности» (утверждено Советом Министров РБ от 21.03.2006 г.).

8. Проведение мониторинга поступления загрязняющих веществ с животноводческих ферм и выгребных ям селитебных поселений в грунтовые воды, имеющие разгрузки в реки (родники).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О.В. Кадацкая. – Минск : Наука и техника, 1987. – 135 с.

2. Кольмакова, Е.Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е.Г. Кольмакова. – Минск : БГУ, 2009. – 123 с.

3. Гриневич, А.Г. Особенности выноса загрязняющих веществ в бассейне реки Припять / А.Г. Гриневич, Ю.Н. Емельянов, Е.Г. Кольмакова // Вестник Белорусского государственного ун-та. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2000. – № 3. – С. 73–77.

4. Романов, В.П. Оценка поступления биогенных веществ из рассеянных источников / В.П. Романов // Материалы III Международного водного форума «Международное сотрудничество в ранге водно-экологических проблем», 2–3 октября 2008 г., Минск / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ. – Минск, 2008. – С. 102–104.

5. Оношко, М.П. Азот и его минеральные формы в ландшафтах Беларуси / М.П. Оношко. – Минск : Наука и техника, 1990. – 174 с.

6. Кольмакова, Е.Г. Динамика трансграничного переноса загрязняющих веществ в бассейне Западной Двины / Е.Г. Кольмакова, О.И. Маслова // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2008. – № 2. – С. 97–100.



7. Пелешенко, В.И. Оценка взаимосвязи химического состава различных типов природных вод на примере равнинной части Украины / В.И. Пелешенко. – Киев : Вища школа, 1975. – 168 с.

8. Структура географической среды и ландшафтное разнообразие Беларуси / редкол. : И.И. Пирожник [и др.]. – Минск : БГУ, 2006. – 194 с.

9. Маслова, О.И. Географо-гидрохимические типы водотоков бассейна Западной Двины / О.И. Маслова, Е.Г. Кольмакова, Е.А. Козлов // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2009. – № 2. – С. 76–80.

10. Аношко, В. С. Рациональное природопользование Белорусского Поозерья / Аношко В.С. [и др.]. – Минск : ИГН АН Беларуси, 1993. – 202 с.

A.G. Kalmakova, O.I. Maslova, S.V. Grib. Nutrients Runoff of Zapadnaya Dvina Basin Rivers as a Parameter of Agricultural Development of Watersheds.

The results of the estimation of carrying out of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, total phosphorus by river flow in the Zapadnaya Dvina basin (in the territory of Belarus) are presented. The transport of contaminants by the main river Zapadnaya Dvina is analyzed. The maps of nutrient loads in the Zapadnaya Dvina drainage basin based on GIS-modelling are suggested at first. The dependence of nutrients carrying out by surface overflow from agricultural loading in watersheds is shown.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 03.10.2011 г.