

**ВЛИЯНИЕ СЕНСОРНОСТИ ПОЧВЕННОГО
ПОКРОВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОДОСБОРОВ БАССЕЙНА
РЕКИ МУХАВЕЦ НА ВЫНОС БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А. А. Волчек¹, И. В. Окоронко²

¹ Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail volchak@tut.by

² Старший преподаватель, учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail okoronko2007@ya.ru

Аннотация

В статье рассмотрены современные подходы к экологическому нормированию качества почв бассейна р. Мухавец посредством анализа почв по степени гидроморфизма. При нарастании степени гидроморфизма возрастает восстановительный потенциал почв, способствующих накоплению как общего, так и легкогидролизуемого азота. Гидроморфизм почв влияет на подвижность фосфатов в почвах. Согласно используемой методики, были рассчитаны показатели сенсорности почвенного покрова для выделенных элементарных водосборов речного бассейна по отношению к загрязнению азотом и фосфором.

Ключевые слова: гидроэкологическая оценка, гидрографическая сеть, речные бассейны, факторы антропогенной нагрузки, сенсорность почв, загрязнение азотом и фосфором.

**INFLUENCE OF SENSORITY OF THE SOIL COVER OF ELEMENTARY
CATCHAGES OF THE MUHAVETS RIVER BASIN ON THE RELEASE OF
NUTRIENTS**

A. A. Volchak, I. V. Akoronka

Abstract

The article considers modern approaches to ecological regulation of the quality of soils in the basin of the Mukhavets River by analyzing soils according to the degree of hydromorphism. With an increase in the degree of hydromorphism, the restoration potential of soils increases, contributing to the accumulation of both total and easily hydrolysable nitrogen. Soil hydromorphism affects the mobility of phosphates in soils. According to the methodology used, indicators of soil cover sensitivity for the selected elementary watersheds of the river basin were calculated in relation to nitrogen and phosphorus pollution.

Keywords: hydroecological assessment, hydrographic network, river basins, anthropogenic load factors, soil sensitivity, nitrogen and phosphorus pollution.

Введение. В результате интенсивного освоения территории Белорусского Полесья происходит усиление антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, что приводит, в некоторых случаях, к ухудшению качественного состояния поверхностных вод. Главным условием нормального функционирования любой речной экосистемы является не только достаточность, но и надлежащее качество ее воды. Интенсивное использование почв в условиях современного сельскохозяйственного производства оказывает существенное влияние на трансформацию гумусовых соединений и круговорот веществ в целом, что часто приводит к потере органического вещества почвы, снижению плодородия, усилению эрозионных процессов и т.д. Для разработки оптимальных путей сохранения органического вещества почвы и предотвращения развития нежелательных явлений и процессов необходимо проведение исследований взаимосвязи содержания органического вещества и показателей биологической активности почвы, важное место среди которых принадлежит оценке содержания в них как химических элементов, так и различных загрязняющих веществ.

Цель исследований заключается в оценке сенсорности почвенного покрова элементарных водосборов бассейна р. Мухавец с использованием современных технологий. Объект исследования – почвы элементарных водосборов бассейна р. Мухавец.

Река Мухавец – правый приток Западного Буга. Протекает преимущественно по Западному Полесью, берет начало от слияния ручья Муха и канала Вец в г. Пружаны, длина составляет 113 км. Основные притоки: Дахловка, Шевня, Жабинка, Яковчицкий канал (правые), Днепровско-Бугский канал, канал Ореховский, канал Бона, Тростяница, Осиповка и Рита (левые). Площадь водосборного бассейна – 5867 км². Ширина долины в среднем течении 400–600 м, в нижнем – 1,5–2 км. Пойма двусторонняя, низкая, местами заболочена. Русло канализовано. Берега низкие, высотой 0,5–2 м, обрывистые [1–4].

Бассейн р. Мухавец является важным экономическим регионом, на территории которого расположены города Пружаны, Кобрин, Жабинка, Брест, кроме того он является уникальным объектом с ландшафтным, почвенным, геоботаническим и зоогеографическим разнообразием. Объективно оценить геоэкологическую ситуацию невозможно без применения ГИС-технологий.

Материалы и методы. Суть методики представляет собой определенную последовательность проведения следующих исследований.

1. *Выбор операционной типологической единицы рассмотрения (элементарный водосбор, бассейн малой реки и др.).* Посредством геоинформационного картирования было выделено тринадцать малых водосборов (рисунок 1).

2. *Выявление основных факторов антропогенной нагрузки и оценка их количественных характеристик.* Оценка поступления биогенных элементов (азот и фосфор) проводилась на основании анализа ряда экспериментальных работ [5–16] в соответствии с разработанной методикой на основании обработки полученной статистической информации по численности городского и сельского населения и показателям сельскохозяйственного производства (численность

сельскохозяйственных животных, количество вносимых минеральных удобрений).

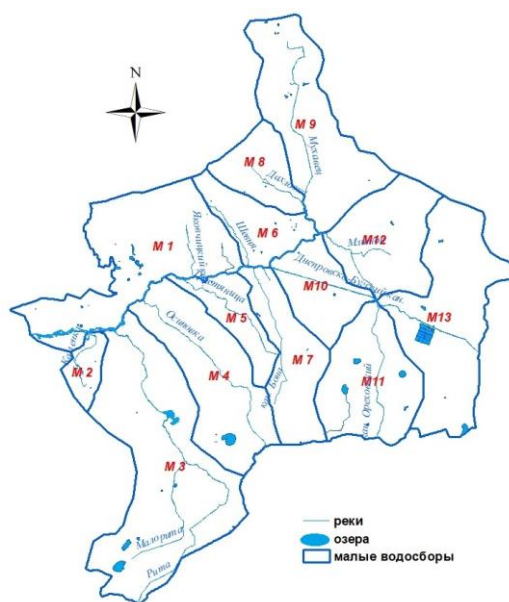


Рисунок 1 – Малые водосборы р. Мухавец

Объекты сельскохозяйственного производства, представленные как сельскохозяйственными землями, так и производственными объектами (животноводческие фермы и комплексы, птицефабрики, места хранения органических и минеральных удобрений), представляют собой источники повышенной биогенной нагрузки и опасности. Интенсификация сельскохозяйственного производства, использование минеральных и органических удобрений, а также поверхностный сток с селитебных территорий и атмосферные осадки могут вызвать изменение величины и направленности потоков биогенных веществ.

Антропогенная нагрузка от животноводства на выделенные водосборные территории оценивалась по объему твердых и жидких отходов и содержащемуся в них количеству действующего вещества. Расчет биогенной нагрузки выполнялся, исходя из численности проживающего населения. Для расчета эмиссии БЭ составлен полный перечень всех населенных пунктов и жителей (данные имеют географическую привязку), а также сведения о наличии либо отсутствии центральной канализации. В материалах HELCOM (исполнительный орган Конвенции по защите морской среды региона Балтийского моря от всех источников загрязнений и реализуется в рамках межправительственного сотрудничества Германии, Дании, Европейского союза, Латвии, Литвы, Польши, России, Финляндии, Швеции и Эстонии (Хельсинкская конвенция)) [17] расчет биогенной нагрузки $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ предлагается проводить при следующих значениях нагрузки от одного жителя: 0.9 кг P/год и 4.4 кг N/год.

При расчетах диффузного загрязнения принято, что при отсутствии центральной канализации нагрузка от населения поступает в подземный сток в пределах населенных пунктов и выносится равномерно в течение года. При

этом механическая очистка не сказывается на содержании биогенных элементов в сточных водах, а биологическая очистка сточных вод приводит к снижению концентрации $P_{\text{общ}}$ на 30%, $N_{\text{общ}}$ на 50%. Содержание $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в отходах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, кг/год на 1 голову: $P_{\text{общ}}$ для КРС – 42,0, для свиней – 13,2, для птицы – 1,4, $N_{\text{общ}}$ для КРС – 82,1, для свиней – 31,2, для птицы – 1,5. При определении количеств азота и фосфора, внесенных с минеральными удобрениями, использовалось соотношение NPK 22 : 11 : 11. В соответствии с требованиями HELCOM приняты ограничения по внесению не более 170 кг/га азота и не более 25 кг/га фосфора.

Для определения выноса биогенных элементов с территории элементарных водосборов использована методика, предложенная коллективом белорусских ученых [18]. Сущность методики заключается в определении сенсорности почвенного покрова к загрязняющим биогенным элементам (азот и фосфор). По определению М. А. Глазовской [19], сенсорность – это ответная реакция почв на определенный вид техногенного воздействия, проявляющаяся в усилении подвижности и доступности для организмов химических элементов в токсичных для биоты формах и концентрациях. По ее мнению, при оценке сенсорности почвенного покрова необходимо учитывать связь между свойствами почв и накоплением химических веществ в них в подвижных формах. Определение показателя сенсорности почвы производилось, исходя из анализа почв по степени гидроморфизма. При нарастании степени гидроморфизма возрастает восстановительный потенциал почв, способствующих накоплению как общего, так и легкогидролизуемого азота. Гидроморфизм почв влияет на подвижность фосфатов в почвах. Таким образом, с увеличением степени гидроморфизма наблюдается переход фосфатов в трудноусвояемые формы. По степени увлажнения были выделены 5 типов почв: автоморфные, контактно- и глубокооуглеенные, временно избыточно увлажняемые, глееватые и глеевые. В таблице приведены балльные значения для оценки сенсорности почвы к загрязнению биогенными элементами.

Таблица 1 – Шкала показателей, контролирующих сенсорность почвы к загрязняющим биогенным элементам, баллы

Признаки и градации показателей	Загрязняющие химические вещества	
	Азот	Фосфор
Автоморфные	0,8	4
Контактно- и глубокооуглеенные	1,6	3,2
Временно избыточно увлажненные	2,4	2,4
Глееватые	3,2	1,6
Глеевые	4	0,8

Сочетание почвенного покрова по сенсорности к конкретному загрязняющему веществу оценивалась по формуле:

$$C_{mn} = (A_1 \cdot x + A_2 \cdot y + A_3 \cdot z + \dots + A_m \cdot n) / S, \quad (1)$$

где C_{mn} – сенсорность почвенного покрова к индивидуальному веществу, балл; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ – сенсорность почвенных разновидностей к индивидуальному веществу, балл; x, y, z, \dots, n – площади почвенных разновидностей, входящих в состав почвенного покрова, км²; S – площадь элементарного водосбора, км².

3. *Картографирование выявленных природных и антропогенных факторов для выбранных типологических единиц рассмотрения.* Необходимый материал был получен путем обработки картографических и справочных материалов. Все расчеты и картосхемы проводились с использованием приложения ArcGIS 10.3. Исходная база данных формировалась по справочным материалам землеустроительных служб, отчетов статистического комитета, сельских исполнительных комитетов, а также комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского исполнительного комитета. Часть данных было получено с помощью созданной геоинформационной системы путём пересечения различных тематических карт.

Результаты и обсуждение. Бассейн р. Мухавец расположен на территории восьми административных р-нов (Каменецкого, Пружанского, Березовского, Дрогичинского, Кобринского, Малоритского, Жабинковского и Брестского) Брестской обл.

Население водосбора проживает в 488 населенных пунктах, из которых один город областного подчинения (Брест), четыре города районного подчинения (Кобрин, Жабинка, Пружаны, Малорита), один поселок городского типа (Антополь), 46 агрогородков, 436 сельских населенных пунктов (424 деревни, 4 поселка, 8 хуторов), выделяется 44 сельских исполнительных комитетов, в которых проживает 516,6 тыс. чел. [20] (рисунок 2).

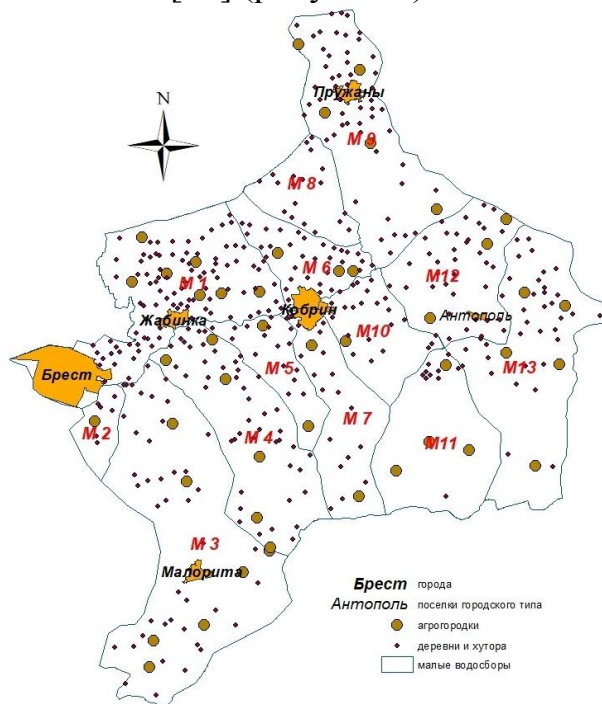


Рисунок 2 – Размещение населенных пунктов в границах бассейна

Территория бассейна р. Мухавец характеризуется очень высоким показателем урбанизации и составляет 85,6 %. Численность сельского населения всего лишь 74,44 тыс. чел. Средняя плотность населения – 88,2 чел/км² [20] В границах водосбора расположено более 60 предприятий агропромышленного комплекса и свыше 200 фермерских хозяйств.

Характеристика антропогенных источников антропогенного поступления биогенных элементов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Антропогенные источники поступления биогенных элементов в бассейн р. Мухавец

Элементарный водосбор	Численность населения, тыс. чел. (2018 г.)		Численность сельскохозяйственных животных, тыс. гол.			Количество вносимых минеральных удобрений, тыс. т. д. в.
	городское	сельское	КРС	свиней	птицы	
М 1	357,28	11,63	26,7	0	0	3,8
М 2	0	0,78	0,9	0	0	0,3
М 3	11,89	7,53	26,9	0	0	2,4
М 4	0	9,29	19,3	0	0	2,2
М 5	0	2,49	7,5	0	0	1,3
М 6	21,18	8,49	8,5	0	532,0	2,1
М 7	21,10	5,30	9,4	0	0	1,3
М 8	0	0,60	6,7	0	0	0,5
М 9	18,61	8,67	63,6	0	355,0	3,4
М 10	10,68	2,59	6,7	0	0	0,9
М 11	0	6,13	11,9	0	0	0,7
М 12	1,39	4,30	17,4	0	0	1,5
М 13	0	6,65	23,5	0	0	0,9

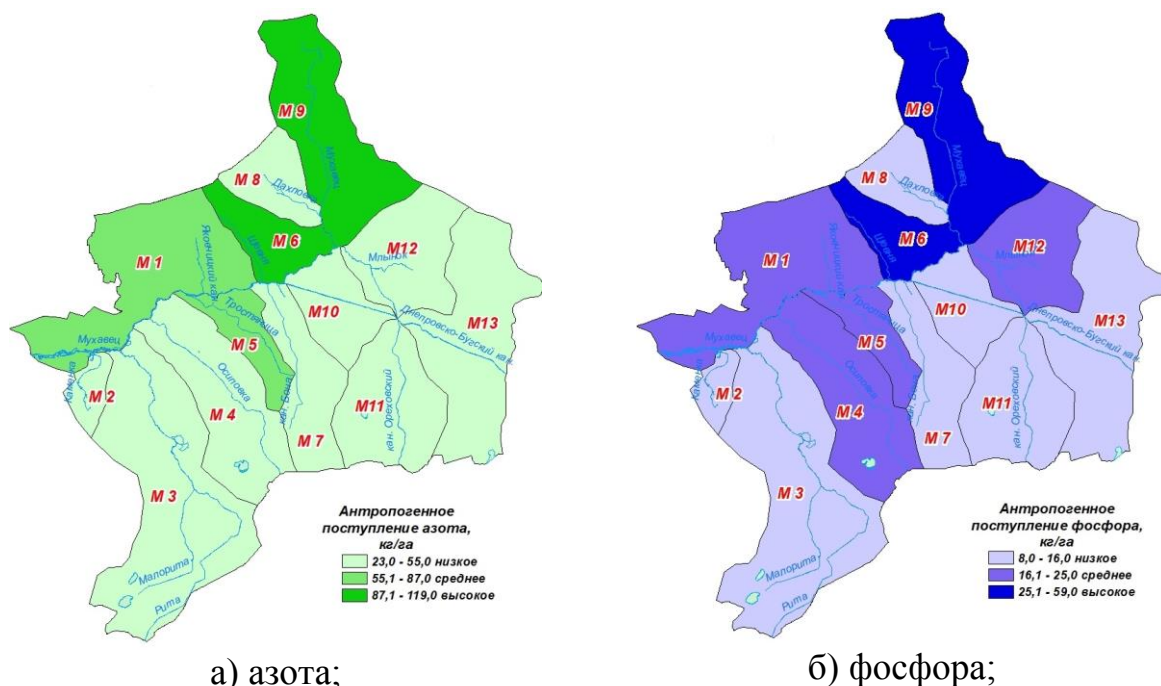
В таблице 3 представлены оценки массы биогенных веществ, формирующейся за счет антропогенной нагрузки на элементарных водосборах р. Мухавец.

Таблица 3 – Количество поступаемых биогенных элементов в элементарные водосборы бассейна р. Мухавец, тонн

Водосбор	Итого от всех источников		Нагрузка от населения		Нагрузка от сельского хозяйства			
					от животноводства		от минеральных удобрений	
	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор
М 1	4712,0	1777,0	837,2	235,6	2189,8	1120,2	1685,1	421,3
М 2	206,6	69,9	3,4	0,7	70,5	36,1	132,6	33,2
М 3	3327,2	1409,0	59,3	14,3	2208,7	1129,9	1059,1	264,8
М 4	2604,5	1062,9	40,9	8,4	1581,5	809,0	982,2	245,5
М 5	1197,7	459,8	11,0	2,2	615,1	314,7	571,6	142,9

Водосбор	Итого от всех источников		Нагрузка от населения		Нагрузка от сельского хозяйства			
					от животноводства		от минеральных удобрений	
	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор
М 6	2493,0	1350,8	84,0	21,0	1494,7	1101,2	914,3	228,6
М 7	1400,9	553,0	69,7	18,1	773,0	395,4	558,2	139,6
М 8	748,7	329,9	2,7	0,5	546,0	279,3	200,0	50,0
М 9	7329,0	3562,2	79,1	19,5	5755,9	3169,2	1494,0	373,5
М 10	993,9	393,5	34,9	9,1	553,3	283,0	405,8	101,4
М 11	1313,1	582,4	27,0	5,5	976,4	499,5	309,7	77,4
М 12	2104,7	898,2	22,0	4,7	1425,1	729,0	657,7	164,4
М 13	2352,4	1091,7	29,2	6,0	1930,4	987,5	392,8	98,2

Распределение биогенных элементов представлено на рисунке 3.



а) азота;
Рисунок 3 – Антропогенное поступление биогенных элементов в элементарные водосборы бассейна р. Мухавец

Наибольшее количество $N_{\text{общ}}$ поступает в пределах водосборов М9 (118,8 кг/га) и М6 (108,2 кг/га), соответственно $P_{\text{общ}}$ – на водосборе М6 (59,0 кг/га) и М9 (57,7 кг/га). В границах бассейна р. Мухавец зафиксировано лишь превышение поступления по фосфору на элементарных водосборах М6 и М9.

В границах бассейна р. Мухавец доминируют глееватые (33,1 %), временно избыточно увлажненные (25,0 %) и глеевые (24,7 %) почвы (рисунок). Контактными и глубокоогуленными почвами занято 9,7 % площади водосбора. Наименьшую долю составляют автоморфные почвы (7,6 %).

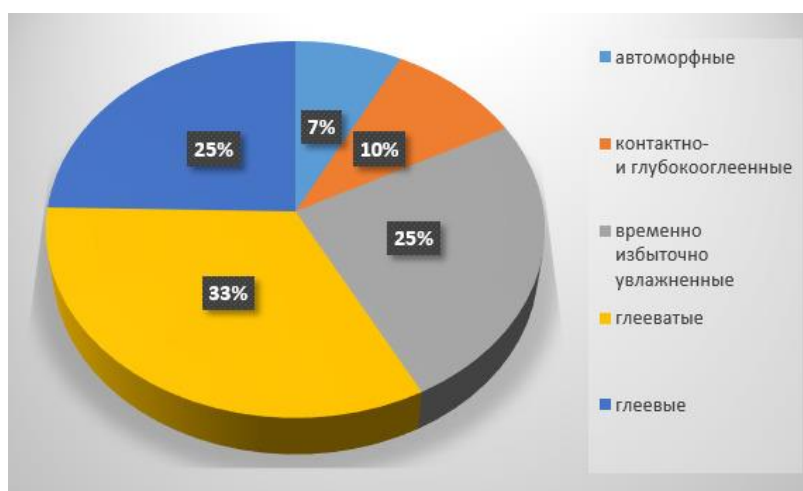


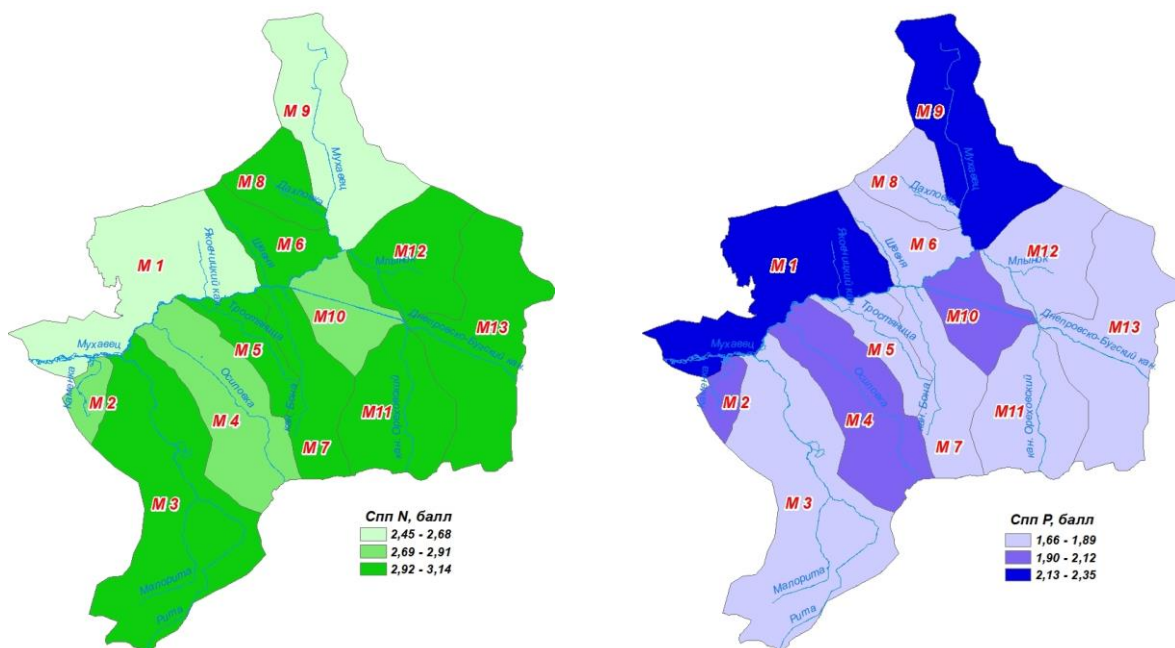
Рисунок 4 – Распределение почв бассейна р. Мухавец по степени гидроморфизма

Распределение почв по степени гидроморфизма в границах элементарных водосборов представлены в таблице.

Таблица 4 – Структура почвенного покрова элементарных водосборов бассейна р. Мухавец, %

Элементарный водосбор	Автоморфные	Контактно-и глубокооглеенные	Временно избыточно увлажненные	Глееватые	Глеевые
М 1	15,3	10,0	22,2	37,8	14,8
М 2	5,9	11,3	24,6	40,9	17,4
М 3	4,5	10,0	22,0	32,4	31,1
М 4	3,6	12,9	24,3	35,2	24,0
М 5	2,4	10,4	25,8	33,8	27,7
М 6	4,6	2,4	31,0	44,9	17,1
М 7	0,9	8,0	23,1	34,5	33,6
М 8	1,9	17,0	20,8	26,9	33,4
М 9	20,4	9,2	29,9	24,8	15,8
М 10	6,4	8,2	30,6	41,8	13,0
М 11	1,0	8,5	31,8	20,5	38,2
М 12	2,5	7,1	27,8	45,4	17,1
М 13	4,3	10,0	22,0	31,3	32,4

Распределение показателей C_{np} представлены на рисунке 5.



а) к загрязнению азотом;

б) к загрязнению фосфором;

Рисунок 5 – Распределение показателей Спп бассейна р. Мухавец

Элементарные водосборы М1 и М9 характеризуются наименьшим баллом *CnnN*, при этом для водосбора М9 характерен высокий, а для водосбора М1 – средний показатель поступления биогенных элементов. Средние показатели *CnnN* отмечены на водосборах М2, М4 и М10. Данные элементарные водосборы испытывают наименьшую антропогенную нагрузку и характеризуются наименьшими показателями поступления азота. Для остальных 8 водосборов наблюдается высокий балл *CnnN* и низкие значения загрязнением азотом.

Наименьшие показатели *CnnP* фиксируются на 8 элементарных водосборах, из которых водосбор М6 характеризуется высоким, а водосборы М5 и М12 – средними показателями по загрязнению фосфором. Элементарные водосборы М2, М4 и М10 имеют средний, а водосборы М1 и М9 – высокий балл *CnnP*.

Наиболее острая гидроэкологическая ситуация по загрязнению биогенными элементами выявлена на 4 элементарных водосборах бассейна р. Мухавец – М1, М5, М6 и М9.

Заключение. Для исследуемой территории с использованием бассейнового подхода проведено гидрографическое районирование бассейна р. Мухавец, выделены тринадцать малых водосборов, оцифрован картографический материал, собраны статистические данные, создана база данных по различным физико-географическим, социально-экономическим и эколого-гидрографическим показателям.

В работе выявлены основные антропогенные факторы, проведена их качественная и количественная характеристика, проведено районирование по преобладающим видам антропогенных воздействий. Произведена оценка поступления биогенных элементов в элементарные водосборы, а также рассчитаны показатели сенсорности почв.

Список цитированных источников

1. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя / рэдкал.: Н. А. Дзісько і інш. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2002. – 440 с.
3. Рэкі, азёры і вадасховішчы Беларусі / Энцыклапедычная бібліятэчка «Беларусь». – Мінск : БелЭн, 1979. – 216 с.
4. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы / Маст. : Ю. А. Тарзеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
5. Волчек А. А. Биогенные элементы на малых водосборах реки Мухавец / А. А. Волчек, И.В. Окоронко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; под общ. ред. П. С. Лопуха; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – с. 340–345.
6. Ясинский, С. В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек / С. В. Ясинский // Известия АН. Сер. географическая. – 2000. – № 4. – С. 74–82.
7. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства / А. Ю. Брюханов [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.
8. Ясинский, С. В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С. В. Ясинский, Е. В. Веницианов, И. А. Вишневская // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. № 2. – С. 232–244.
9. Кондратьев, С. А. Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) / С. А. Кондратьев, А. Ю. Брюханов, А. В. Терехов // Вопр. географии. – 2018. – № 145. – С. 89–108.
10. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев [и др.] // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.
11. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) / С. В. Ясинский [и др.] // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сб. науч. тр. Нижний Новгород. – М. : Студия Ф1, 2019. – С. 487–491.
12. Ясинский, С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В., Нарыков А. Н. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) //

Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : сб. науч. тр. – Нижний Новгород; М. : Студия Ф1, 2019. – С. 487–491.

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

14. Брюханов, А. Ю., Кондратьев С. А., Обломкова Н. С., Оглуздин А. С., Субботин И. А. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.

15. Ясинский, С. В., Веницианов, Е. В., Вишневская, И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. – № 2. – С. 232–244.

16. Кондратьев, С. А., Казмина, М. В., Шмакова, М. В., Маркова, Е. Г. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.

17. HELCOM Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). Helsinki: HELCOM, 2005. 80 p.

18. Феденя, В. М., Романова, Т. А., Матвеева, В. А., Ивахненко, Н. Е. Сенсорность почв к химическому загрязнению как основа экологического нормирования техногенных химических нагрузок // Природнвк ресурсы. – 2000. – № 2. – С. 48.

19. Глазовская, М. А. Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. – 1991. – № 1. – С. 134–139.

20. Брестская область в цифрах. – Минск: Главное статистическое управление Брестской области, 2019. – 88 с.