

УДК 504.4.054;556.06(1/9)

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА НА ТЕРРИТОРИЮ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

© 2022 г. В. Ю. Георгиевский^а, *, Л. П. Алексеев^а, А. Ю. Брюханов^б, **, Д. В. Георгиевский^а,
П. А. Голосовский^а, Е. А. Грек^а, В. В. Костко^а, О. М. Кузнецова^а, Т. Г. Молчанова^а,
Н. С. Обломкова^б, Т. В. Фуксова^а

^аГосударственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

^бИнститут агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал Федерального
научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: georg@ggi.nw.ru

**e-mail: sznii@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.10.2021 г.

После доработки 17.11.2021 г.

Принята к публикации 15.12.2021 г.

На основе материалов государственного мониторинга водных объектов выполнена оценка массы переносимых трансграничными реками бассейна Западной Двины (рр. Западная Двина, Каспля, Свольня, Усвяча, Уща) валового азота и валового фосфора на территорию Республики Беларусь. Выявлено, что межгодовые изменения массы выноса определяются, главным образом, объемом речного стока, что позволило оценить вынос валового азота и фосфора в годы различной водности с использованием данных о средних за 2011–2016 гг. концентрациях биогенных элементов. В рассматриваемом бассейне поступление валового азота и фосфора от точечных источников составляет 1–2% от их суммарного поступления. Оценка диффузной нагрузки выполнена на основании статистических данных за 2016 г. о структуре водосборных площадей, в соответствии с которыми 88% территории заняты естественными типами подстилающей поверхности и только 12% занимают антропогенно-измененные земли, и обобщенных данных о концентрациях биогенных веществ, поступающих в водные объекты с различных типов подстилающей поверхности водосборов. При современном уровне использования водных ресурсов и сложившейся структуре ландшафтов суммарное поступление в гидрографическую сеть бассейна составляет по валовому азоту 4290 т/год в маловодные годы 95% обеспеченности стока и 11600 т/год в многоводные годы 5% обеспеченности, а валового фосфора — 430 и 4300 т/год соответственно. Основной вклад дают природные источники, за счет которых формируется более 60% общей нагрузки. Вынос валового азота составляет от 2070 т/год до 5710 т/год при стоке обеспеченностью 95 и 5%, а валового фосфора — от 359 до 959 т/год. Прогнозные оценки с учетом планируемых изменений в сельскохозяйственном производстве при условии внедрения наилучших доступных технологий показали незначительное по сравнению с современным уровнем увеличение нагрузки биогенными веществами на водные объекты российской части бассейна Западной Двины и соответствующее увеличение их выноса на территорию Беларуси в пределах 2%.

Ключевые слова: бассейн Западной Двины, миграция азота и фосфора, природные и антропогенные факторы, многолетние изменения, прогноз поступления и выноса

DOI: 10.31857/S2587556622020042

ВВЕДЕНИЕ

Западная Двина — река, протекающая в западной части Восточно-Европейской равнины по территории трех стран: России, Беларуси и Латвии (рис. 1) и впадающая в Рижский залив Балтийского моря. В соответствии с данными Водного кадастра (Ресурсы ..., 1963) река вытекает из небольшого оз. Двина или Двинца, лежащего на высоте 250 м над ур. м. Площадь ее бассейна со-

ставляет 87.9 тыс. км², в том числе в Российской Федерации 26.8 тыс. км². Длина реки — 1020 км, из которых верхние 325 км приходятся на территорию России.

Река Западная Двина пересекает границу с Беларусью в районе д. Сеньково на расстоянии 31 км ниже г. Велиж. Помимо собственно р. Западная Двина трансграничными являются ее притоки: рр. Каспля, Усвяча, Уща и Свольня, а



Рис. 1. Схема водосборного бассейна р. Западная Двина.

также р. Полота, длина которой на российской территории составляет всего 7 км, а площадь водосбора 215 км².

Верхняя часть бассейна р. Западная Двина расположена на Валдайской возвышенности. Рельеф верхней и средней части бассейна носит холмистый характер и отличается типичным моренным ландшафтом — изобилует озерами и болотами, из которых берут начало многие реки системы Западной Двины. В целом, водосборный бассейн находится в зоне избыточного увлажнения.

Реки российской части рассматриваемого бассейна относятся к типу равнинных рек с преобладанием снегового питания. Режим стока в годовом разрезе характеризуется высоким весенним половодьем, относительно низкой летне-осенней меженью, нередко прерываемой дождевыми паводками, и зимней меженью, в течение которой может происходить увеличение водности в период оттепелей.

Решение проблемы охраны и использования водных ресурсов бассейна трансграничной р. Западная Двина осуществляется в соответствии с

Соглашением между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Беларусь о сотрудничестве в области охраны окружающей природной среды от 05.06.1994 г. и Соглашением по охране и рациональному использованию трансграничных водных объектов от 15.10.2012 г.

Российская Федерация как член Хельсинкской комиссии по защите морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) имеет обязательства по сокращению поступления биогенных веществ в море в соответствии с принятым коллективным Планом¹. Для их выполнения необходимо иметь достоверные оценки современной нагрузки на водные объекты (поступления в гидрографическую сеть) и выноса (переноса) валового азота и валового фосфора с российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси и прогноз на ближайшую перспективу с учетом планов

¹ Helcom meeting portal // Workshop on transboundary inputs and retention. 2015. <https://portal.helcom.fi/meetings/Transboundary%20inputs%20WS%201-2015-243>

Таблица 1. Обеспеченные значения суммарного годового стока (км³) рек бассейна Западной Двины

Бассейн	Средний объем стока, км ³	C _v	C _s /C _v	Обеспеченность, %				
				5	25	50	75	95
Западная Двина	6.88	0.29	1.60	10.3	8.12	6.74	5.48	3.87

развития отраслей экономики, в том числе, сельскохозяйственного производства.

Ниже приводятся результаты исследований, посвященных решению этих задач.

ОЦЕНКА СТОКА ВОДЫ, ПОСТУПАЮЩЕГО С РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ НА ТЕРРИТОРИЮ БЕЛАРУСИ

Вынос биогенных веществ с российской части бассейна реки происходит со стоком воды собственно Западной Двины, а также ее притоков (рр. Каспля, Усвяча, Уща и Свольня), водосборы которых расположены на территории двух государств. Поэтому первоначальной задачей являлось определение и анализ многолетних рядов месячного, сезонного и годового стока этих рек в створах пересечения государственной границы. Для этого использовались данные многолетних наблюдений на гидрологических постах, расположенных как на российской части бассейна (р. Западная Двина – г. Велиж, р. Усвяча – д. Козлово, р. Каспля – г. Демидов), так и на территории Беларуси (р. Нища – д. Соколище, р. Свольня – д. Пользино, р. Дрисса – с. Демехи, р. Полота – д. Янково-1-е). На р. Уща наблюдения за стоком не велись, в связи с чем сток был рассчитан по данным наблюдений по реке-аналогу (р. Нища – д. Соколище). Приведение стоковых рядов к единому многолетнему периоду (1963–2016 гг.) было выполнено с использованием методики, разработанной в ГГИ (Кокорев и др., 2011). Пересчет значений годового и сезонного стока от створов гидрологических наблюдений к створам пересечения государственной границы был выполнен с учетом площадей, не освещенных данными гидрометрических наблюдений. Границы сезонов для всех рек были приняты одинаковыми: весна (март–май), лето (июнь–август), осень (сентябрь–ноябрь), зима (декабрь–февраль).

На рис. 2 приведены хронологические графики годовых объемов стока рек рассматриваемой части бассейна Западной Двины, а также их суммарного стока. Вероятностные характеристики суммарных годовых объемов стока, поступивших с российской части бассейна реки Западная Двина

на на территорию Республики Беларусь, приведены в табл. 1.

На следующем этапе из многолетнего ряда годовых величин суммарного стока выбирались годы наиболее близкие по водности к обеспеченностям 5, 25, 50, 75 и 95%. Распределение суммарного стока между рр. Западная Двина, Каспля, Усвяча, Уща и Свольня в эти годы принималось в качестве расчетного, так же, как и распределение годового стока этих рек по сезонам. Полученные таким образом объемы годового стока рек российской части бассейна Западной Двины приведены в табл. 2.

ОЦЕНКА ВЫНОСА ВАЛОВОГО АЗОТА И ФОСФОРА РЕКАМИ БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ НА ТЕРРИТОРИЮ БЕЛАРУСИ В РАЗЛИЧНЫЕ ПО ВОДНОСТИ ГОДЫ

Оценка выполнена с использованием расчетных данных по годовому и сезонному стоку рек в створах пересечения государственной границы и материалов режимных гидрохимических наблюдений за содержанием минеральных форм азота и фосфора, проводимых Росгидрометом (р. Западная Двина – г. Велиж), а также выполненных ор-

Таблица 2. Составляющие общего годового стока рек (км³) российской части бассейна р. Западная Двина в годы близкие по водности к обеспеченностям 5, 25, 50, 75, 95%

Река	Обеспеченность, %				
	5	25	50	75	95
Западная Двина	7.54	5.95	4.95	4.02	2.82
Каспля	1.49	1.16	0.97	0.82	0.60
Усвяча	0.49	0.38	0.30	0.23	0.17
Свольня	0.18	0.15	0.13	0.11	0.07
Уща	0.64	0.48	0.39	0.30	0.21

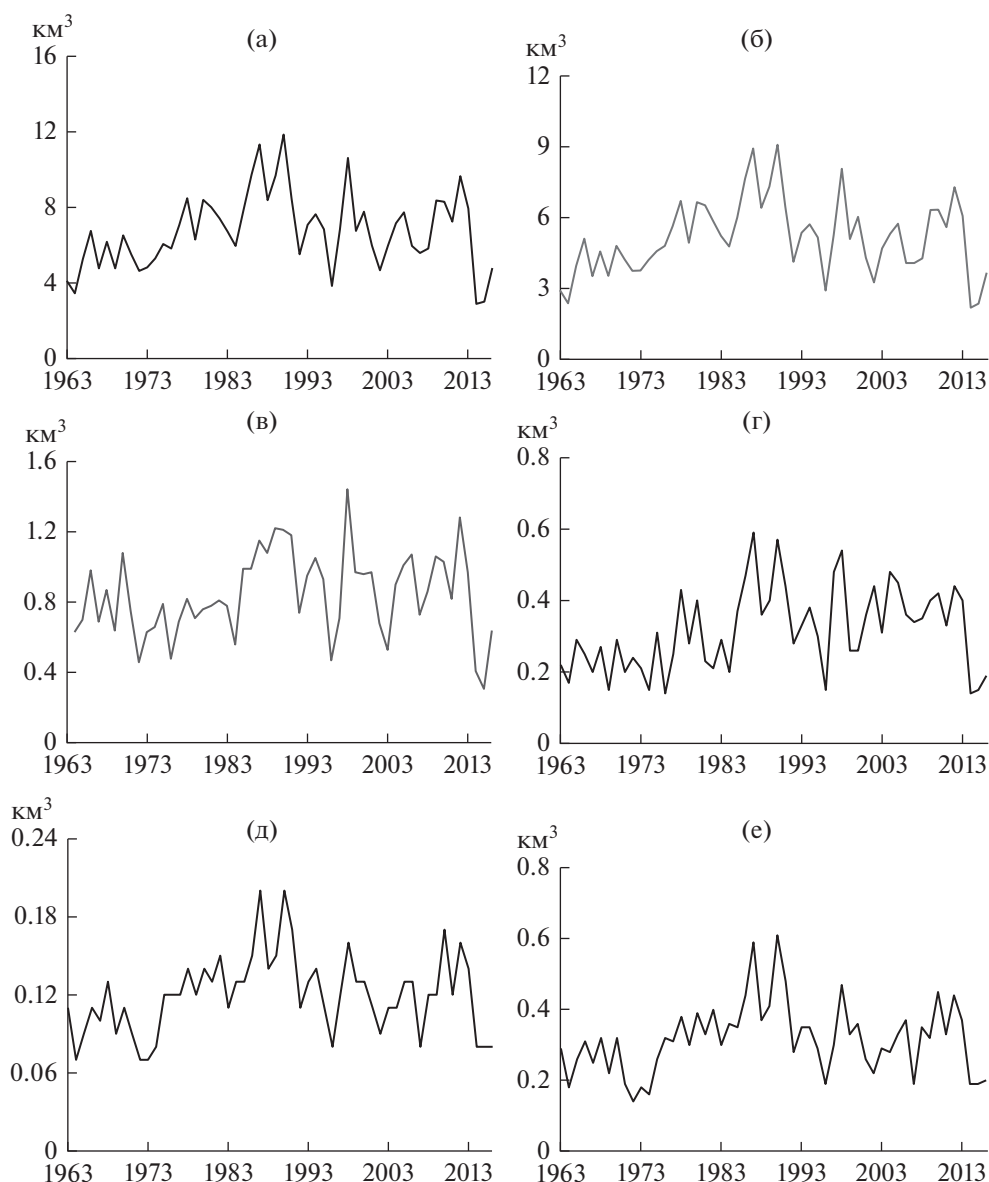


Рис. 2. Годовой сток рек российской части бассейна Западной Двины (km^3): (а) суммарный сток; (б) Западная Двина; (в) Каспля; (г) Усвяча; (д) Свольня; (е) Уща.

ганизациями Росводресурсов в трансграничных створах рек бассейна Западной Двины (р. Западная Двина — д. Сеньково, р. Уща — д. Турки-Перевоз, р. Усвяча — д. Козлово, р. Каспля — 15 км ниже д. Попара, р. Свольня — д. Забелье) в 2011–2016 гг. Отметим, что размещение пунктов наблюдений на этих реках согласовано Российско-Белорусской Комиссией по охране и использованию трансграничных водных объектов. В работе использованы также результаты специальных полевых исследований в бассейнах рр. Уща и Усвяча, выполненных ГГИ и ИАЭП летом 2017 г.

Анализ связи концентраций минеральных форм азота и фосфора на даты проведения гидро-

химических съемок со среднесуточными расходами воды, а также связи средних за сезон значений концентраций и расходов воды, показал, что для всех рассматриваемых рек они являются статистически незначимыми. В качестве примера на рис. 3 показаны графики связи среднесуточных концентраций минеральных форм азота и фосфора с расходами воды на дату отбора проб для гидрологического поста на р. Западная Двина у г. Велиж, по которому имеется наиболее продолжительный ряд гидрохимических наблюдений (1984–1989 и 1993–2016 гг.).

Многолетние изменения среднегодовых и среднесезонных концентраций минеральных

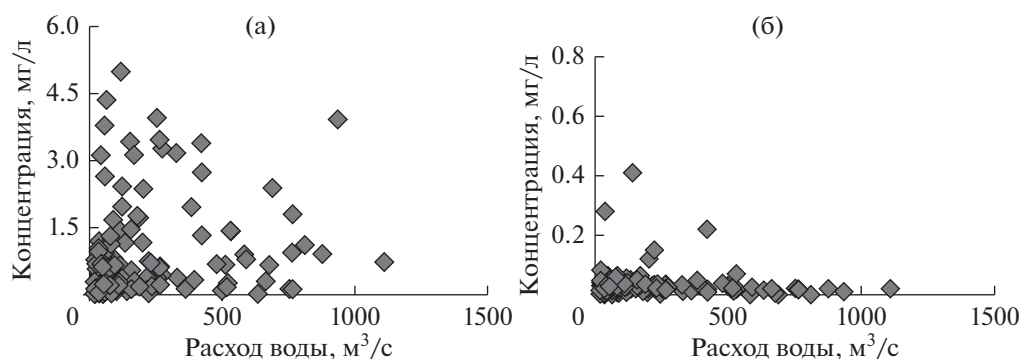


Рис. 3. График связи расходов воды с концентрациями минеральных форм азота (а) и фосфора (б) для гидрологического поста р. Западная Двина – г. Велиж.

форм азота и фосфора на этом посту характеризуются их снижением в 2011–2016 гг. по отношению к 1980-м годам. При этом в последние годы не наблюдается каких-либо направленных изменений концентраций как на реке Западная Двина, так и на ее притоках, что свидетельствует о стабилизации биогенной нагрузки в бассейне. Вариации концентраций в этот период были незначительными и определялись, в основном, случайными погрешностями их определения.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в современных условиях вынос валового азота и фосфора реками бассейна Западной Двины определяется, главным образом, объемом их стока.

Средние сезонные концентрации минеральных форм азота в трансграничных створах рек бассейна Западной Двины за 2011–2016 гг. находятся в диапазоне от 0.109 мг/л в летний период до 0.337 мг/л в зимний для р. Западная Двина, от 0.721 мг/л (лето) до 1.121 мг/л (зима) для р. Каспля, от 0.186 мг/л (лето) до 0.454 мг/л (зима) для р. Усвяча, от 0.167 мг/л (лето) до 0.377 мг/л (зима) для р. Свольня и от 0.208 мг/л (лето) до 0.280 мг/л (зима) для р. Уща. Различия в сезонных концентрациях фосфатов весьма незначительные и лежат в пределах погрешности их определения.

Расчет выноса биогенных веществ на территорию Беларуси в различные по водности годы при современном уровне использования водных ресурсов и сложившейся структуре природных и антропогенно-измененных ландшафтов был выполнен с использованием осредненных за 2011–2016 гг. сезонных концентраций, характеризующих содержание биогенных веществ в единице объема воды (согласно принятым методикам Росгидромета – содержания минеральных форм азота и фосфора) для каждой из рек, пересекающих границу. Так как в европейских странах ХЕЛКОМ принято оперировать значениями концентраций валовых форм азота и фосфора, выполнен пересчет средних за сезон концентраций

минеральных форм в концентрации валовых форм азота и фосфора с использованием переходных коэффициентов: по фосфору коэффициент равный 3, по азоту – 2. Коэффициенты определены на основании анализа данных одновременных наблюдений за содержанием растворенных (минеральных) и валовых форм азота и фосфора в воде рек соседнего близкого по физико-географическим условиям бассейна Чудско-Псковского озера и р. Нарва за 2001–2016 гг. Значения переходных коэффициентов подтверждены результатами определения соотношения концентраций минеральных и валовых форм азота и фосфора, полученными ГГИ и ИАЭП летом 2017 г. в ходе проведения полевых работ в бассейнах рр. Уща и Усвяча.

Годовые объемы стока рек были приняты в соответствии с данными, представленными в табл. 1 и 2, а распределение их по сезонам – по данным наблюдений за годы, когда суммарный сток рек

Таблица 3. Масса выноса валового азота реками российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси в годы различной водности ($P = 5, 25, 50, 75, 95\%$), т/год

Река	Обеспеченность, %				
	5	25	50	75	95
Западная Двина	3110	2560	2180	1650	1130
Каспля	2000	1190	1010	1120	730
Усвяча	195	150	100	80.0	75.0
Свольня	90.0	75.0	65.0	50.0	35.0
Уща	315	250	210	120	100
Итого	5710	4220	3560	3020	2070

Таблица 4. Масса выноса валового фосфора реками российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси в годы различной водности ($P = 5, 25, 50, 75, 95\%$), т/год

Река	Обеспеченность, %				
	5	25	50	75	95
Западная Двина	730	580	480	390	275
Каспля	180	145	120	100	70.0
Усвяча	30.0	20.0	15.0	15.0	8.10
Свольня	3.90	3.20	2.70	2.20	1.60
Уща	15.0	10.0	8.10	6.30	4.30
Итого	959	758	626	513	359

был наиболее близок по водности к расчетным обеспеченностям. Расчет массы выноса валового азота и фосфора реками российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси выполнен по средним концентрациям за 2011–2016 гг. при объемах годового стока, формирующегося в российской части бассейна р. Западная Двина, обеспеченностью 5, 25, 50, 75 и 95% (табл. 3 и 4).

ОЦЕНКА ВКЛАДА ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ВЫНОСЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Для разработки прогноза выноса азота и фосфора на территорию сопредельного государства и разработки научно-обоснованных рекомендаций по минимизации биогенной нагрузки в бассейне р. Западная Двина была выполнена количественная оценка их поступления в гидрографическую сеть от диффузных и точечных источников.

Оценка диффузной нагрузки основывалась на сведениях о площадях различных типов подстилающей поверхности для водосборов рр. Западная Двина, Каспля, Усвяча, Свольня и Уща. При определении площадей за основу были приняты официальные статистические данные за 2016 г.² Эти данные относятся к муниципальным районам Псковской, Тверской и Смоленской областей, полностью или частично расположенных в бассейне Западной Двины. Для объективной оценки площадей различного типа в пределах водосборов указанных трансграничных рек, в допол-

нение к информации по муниципальным районам, использованы также информация спутникового зондирования³ и ГИС-технологии. Результаты оценки площадей различного типа приведены в табл. 5.

Как следует из данных табл. 5, 88% всей территории заняты естественными типами подстилающей поверхности, к которым отнесены леса, болота, водная поверхность, а также сельскохозяйственные земли, не используемые для производства сельскохозяйственной продукции и прочие, не затронутые хозяйственной деятельностью площади. К сельскохозяйственным землям, не используемым для производства сельскохозяйственной продукции, отнесены площади, которые по статистическому учету отнесены к землям сельскохозяйственного назначения, но на которых не осуществлялось и не будет осуществляться выращивание сельскохозяйственных культур. Антропогенно-измененные земли (используемые и залежные сельскохозяйственные земли, урбанизированные территории) занимают 12% всей площади бассейна. К залежным землям отнесены площади, на которых не осуществляется выращивание сельскохозяйственных культур и какая-либо их обработка на протяжении более 1 года. Наибольшая доля антропогенно-измененных земель, в основном сельскохозяйственных, приходится на бассейн р. Каспля – 25% всей площади.

Количественная оценка поступления биогенных веществ в гидрографическую сеть в процессе трансформации дождевых осадков и водоотдачи из снега, поступающих на поверхность водосбора, выполнена с использованием коэффициентов, характеризующих средние их концентрации в стоке с различных типов ландшафтов (табл. 6).

Концентрации валового азота и валового фосфора, поступающих со стоком с естественных ландшафтов, а также урбанизированных территорий были приняты на основе обобщения результатов научных исследований, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом (Кондратьев, 2010; Степанова, 2009; Pitkänen, 1994), а также анализа многолетних экспериментальных данных наблюдений за биогенным стоком с малых водосборов, выполненных в Валдайском филиале ГГИ.

Концентрации биогенных веществ, поступающих в гидрографическую сеть с сельскохозяйственных земель, определены по методике ИАЭП (Брюханов, 2017; Брюханов и др., 2016; Методические ..., 2017).

При этом учитывалась фактическая структура сельскохозяйственных угодий (соотношение

² Предположительная численность населения Российской Федерации. 2018. http://gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140095525812

³ Climate change initiative. European Space Agency. 300 m annual global land cover time series from 1992 to 2015. 2015. <https://esa-landcover-cci.org/?q=node/175>

Таблица 5. Площадь различных типов подстилающей поверхности речных водосборов российской части бассейна р. Западная Двина, км²

Водосбор	Лес	Болота	Водная поверхность	Используемые сельскохозяйственные земли	Залежные сельскохозяйственные земли	Сельскохозяйственные земли, не используемые для производства сельхозпродукции	Урбанизированные территории	Прочие	Сумма
Западная Двина	13905	1162	151	428	1262	1181	98.0	1192	19379
Каспля	1760	136	19.5	332	670	629	25.0	575	4147
Усвячи	790	117	38.4	43.0	119	110	7.40	174	1399
Свольня	335	56.2	14.4	13.0	40.0	37.4	0.98	43.0	540
Уща	710	88.9	77.1	34.0	129	122	9.10	166	1336
Сумма	17500	1560	300	850	2220	2080	140	2150	26800

Таблица 6. Концентрация N и P (мг/л) в стоке, поступающем в водные объекты с различных типов подстилающей поверхности водосборов

Элемент	Лес	Болота	Используемые сельскохозяйственные земли	Залежные сельскохозяйственные земли	Сельскохозяйственные земли, не используемые для производства сельхозпродукции	Урбанизированные территории	Прочие
N	0.75	1.50	5.0–12	1.6–2.0	0.90–1.0	3.5–4.0	0.8–1.0
P	0.075	0.072	0.4–1.4	0.16–0.20	0.09–0.10	0.5–1.0	0.08–0.09

площадей под пропашными культурами, многолетними травами, лугами [пастбища], залежи), сложившаяся на уровень 2016 г., типы почв и содержание в них азота и фосфора, количество используемых минеральных и органических удобрений. В результате обобщения информации по биогенной нагрузке были получены средневзвешенные значения концентраций валового азота и валового фосфора для каждого из пяти выделенных водосборов для следующих категорий сельскохозяйственных земель:

– интенсивно используемые земли (пропашные, зерновые и зернобобовые культуры, кормовые культуры);

– залежные земли (выведенные из севооборота и не используемые более 1 года);

– земли, занятые естественной растительностью (на которых не осуществлялось и не будет осуществляться выращивание сельскохозяйственных культур).

Большой диапазон изменения концентрации валового азота и фосфора в стоке с используемых сельскохозяйственных земель (см. табл. 6) подтвержден результатами полевых работ в бассейнах рр. Уща и Усвяча летом 2017 г.

Объемы стока, поступающие с различных видов поверхностей, были определены по данным о слоях стока различной обеспеченности для каждого рассматриваемого водосбора и площадях, занимаемых соответствующими ландшафтами.

Для всех речных бассейнов, сток с которых непосредственно поступает на территорию Белору-

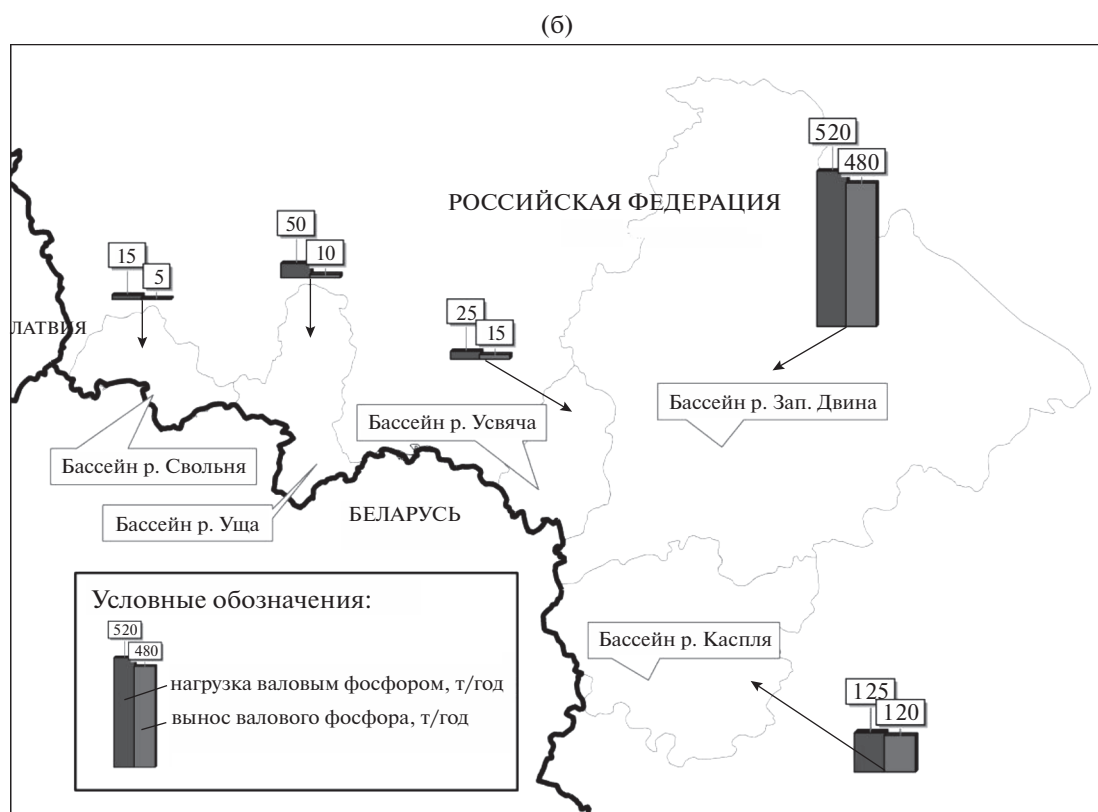
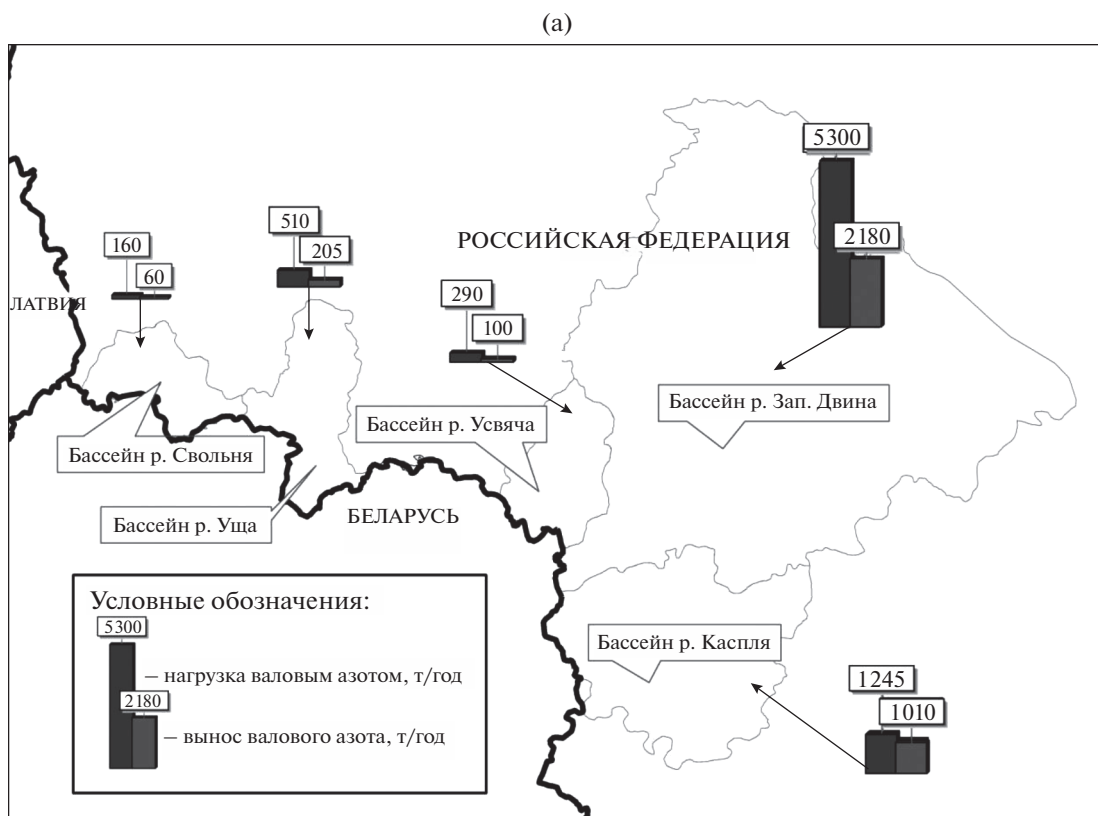


Рис. 4. Современная нагрузка и вынос биогенных веществ реками российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси при годовом стоке 50% обеспеченности.

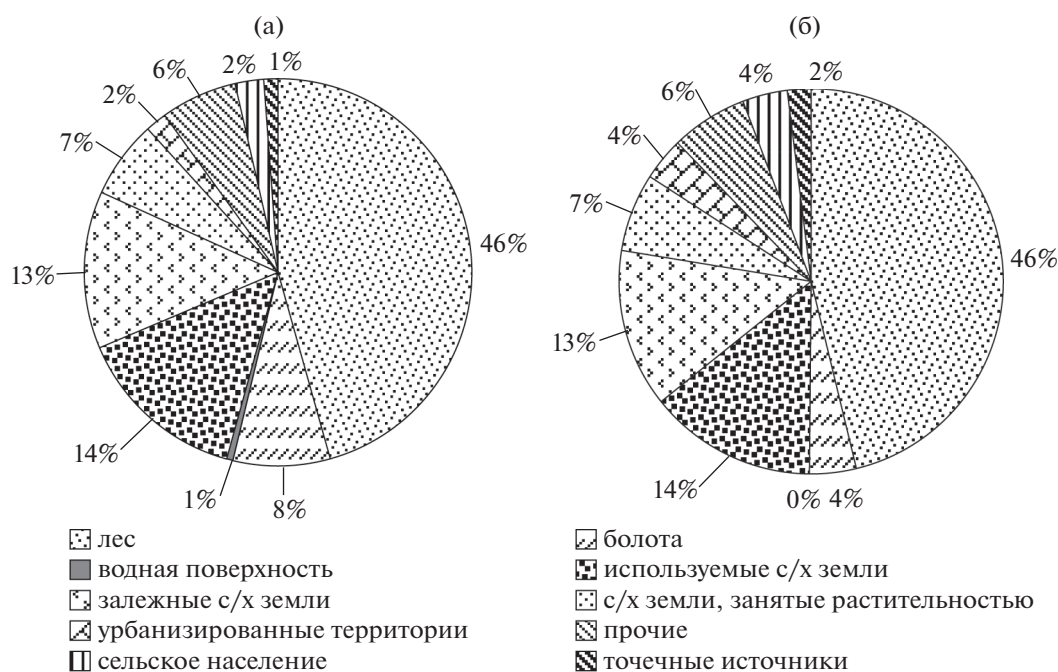


Рис. 5. Вклад природных и антропогенных источников в вынос валового азота и валового фосфора реками российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси.

си, были рассчитаны сезонные и годовые диффузные биогенные нагрузки (поступление валового азота и валового фосфора) на водные объекты, сформированные стоком с естественных и антропогенно-измененных ландшафтов в различные по водности годы.

Отметим, что в суммарной биогенной нагрузке учитывалось также поступление биогенных веществ от жизнедеятельности сельского населения, проживающего в населенных пунктах с отсутствием централизованной канализации. В соответствии с (Brandt et al., 2009) было принято, что величина суточной эмиссии азота на одного человека составляет 13.5 г, фосфора — 2.1 г. При этом удержание азота составляет 51%, а фосфора — 69%. Учтено также количество валового азота, поступающего на водную поверхность в результате выпавших осадков.

Оценка поступления биогенных веществ в водные объекты от точечных источников загрязнения (промышленные предприятия и объекты жилищно-коммунального комплекса) выполнена по данным государственной статистической отчетности о сбросах сточных вод. Согласно этим данным, современное поступление валового азота от точечных источников в российской части бассейна реки Западная Двина составляет около 90 т/год, а валового фосфора — 15 т/год.

Годовые объемы биогенной нагрузки при стоке 50%-ной обеспеченности приведены на рис. 4.

На этом же рисунке приведены объемы выноса валового азота (см. рис. 4а) и фосфора (см. рис. 4б) на территорию Беларуси.

Полученные результаты оценки нагрузки по валовому азоту и валовому фосфору и массе их выноса позволяют рассчитать величину удержания этих биогенных элементов в гидрографической сети. В целом по бассейну при годовом стоке 50%-ной обеспеченности удержание валового азота составляет 3950 т в год или 53% от его общей нагрузки, а удержание валового фосфора — 106 т в год или 14% от нагрузки. Суммарное поступление в гидрографическую сеть бассейна биогенных веществ в средний по водности год 50%-ной обеспеченности составляет: валового азота 7600 т/год, валового фосфора — 750 т/год. В маловодные годы 95%-ной обеспеченности 4290 т/год валового азота и 430 т/год валового фосфора, а в многоводные годы 5%-ной обеспеченности 11600 и 4300 т/год соответственно.

Распределение вклада природных и антропогенных источников в вынос валового азота и валового фосфора реками российской части бассейна Западной Двины на территорию Беларуси показано на рис. 5.

Из этих данных следует, что в современных условиях большая часть нагрузки и, соответственно, выноса биогенных веществ формируется на территориях, находящихся в естественных условиях: валового азота 68%; валового фосфора

63%. Нагрузка от точечных источников составляет около 1% валового азота и менее 2% валового фосфора. Основным антропогенным источником поступления валового азота и фосфора является сельское хозяйство — его доля в суммарной нагрузке составляет 27%.

ПРОГНОЗ ПОСТУПЛЕНИЯ И ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Анализ перспективных планов развития различных отраслей хозяйства в российской части бассейна Западной Двины⁴ показал, что рост нагрузки валовым азотом и фосфором может произойти только в результате увеличения сельскохозяйственного производства.

При прогнозе было учтено:

- планируемое к 2020 г. дополнительное введение в оборот 7.5 тыс. га сельскохозяйственных земель, не используемых в настоящее время (залежащих земель);

- увеличение поголовья фуражных коров на 1.5 тыс. голов, свиней на 112 тыс. голов (с учетом сопредельных территорий на 215 тыс. голов), сельскохозяйственной птицы на 42 тыс. голов;

- увеличение количества образуемого валового азота и валового фосфора соответственно на 9610 и 2470 т в год;

- прогнозные параметры функционирования животноводческих и птицеводческих комплексов с учетом их перехода в соответствии с законодательством Российской Федерации на наилучшие доступные технологии (НДТ). В части сельскохозяйственного производства и снижения диффузной нагрузки на водные объекты в качестве НДТ учтен переход на экологически безопасные технологии переработки органических отходов животноводства, внесения органических и минеральных удобрений⁵.

Прогнозные значения концентраций валового азота и валового фосфора, поступающих в водные объекты со стоком с сельскохозяйственных полей, были определены на основе прогноза годового поступления азота и фосфора от сельскохозяйственных производств в водные объекты в границах муниципальных районов бассейна За-

падной Двины. Прогнозные данные по районам были обобщены по бассейнам рр. Западная Двина, Каспля, Усвяча, Уща и Свольня, что позволило выполнить оценку на перспективу биогенной нагрузки и выноса валового азота и валового фосфора этими реками на территорию Беларуси.

В соответствии с выполненными прогнозными оценками с учетом планируемых изменений в сельскохозяйственном производстве, связанных с увеличением поголовья скота и птицы, увеличением площадей сельскохозяйственных угодий, изменением содержания валового азота и валового фосфора в органических удобрениях, ожидается незначительное по сравнению с современным уровнем увеличение нагрузки биогенными веществами на водные объекты российской части бассейна Западной Двины. При расчете переноса валового азота и валового фосфора доля их удержания от общей нагрузки принята аналогичной современному уровню. Прогнозная оценка выноса валового азота и фосфора на территорию Беларуси показала незначительное его увеличение в пределах 2%.

На основе этих данных можно сделать вывод о практической стабилизации воздействия биогенной нагрузки на водохозяйственную обстановку в бассейне. Необходимым условием для стабилизации является реализация планов перехода животноводческих и птицеводческих на НДТ⁶.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе был реализован методический подход по оценке и прогнозу нагрузки биогенными веществами на российскую часть бассейна р. Западная Двина и их выноса на территорию Республики Беларусь, основанный на использовании данных государственного мони-

⁴ О внесении изменений в постановление Правительства Тверской области от 25.12.2012 № 806-пп. <http://docs.cntd.ru/document/460281961> (дата обращения 17.04.2018); ООПТ России // Схема территориального планирования Смоленской области. Материалы по обоснованию. Омск, 2017. 382 с. <http://oopt.aari.ru/ref/1666>; Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации // О Программе социально-экономического развития Тверской области на период до 2020 года. 2018. <http://docs.cntd.ru/document/460188099> (дата обращения 17.04.2018); Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации // Об утверждении Схемы территориального планирования Псковской области (с изменениями на 1 июня 2017 года). <http://docs.cntd.ru/document/924025711> (дата обращения 17.04.2018).

⁵ Интенсивное разведение свиней // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НДТ, 2017. 303 с. <http://www.burondt.ru/NDT/NDT-DocsDetail.php?UrlId=1138&etkstructure> (дата обращения 17.04.2018); Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НДТ, 2017. 129 с. <http://www.burondt.ru/NDT/NDT-DocsDetail.php?UrlId=1140&etkstructure> (дата обращения 17.04.2018); Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации // Федеральный закон “О техническом регулировании” от 27.12.2002 № 184-ФЗ (с изменениями на 29 июля 2017 года). <http://docs.cntd.ru/document/901836556> (дата обращения 17.04.2018).

⁶ Интенсивное разведение свиней // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НДТ, 2017. 303 с. <http://www.burondt.ru/NDT/NDT-DocsDetail.php?UrlId=1138&etkstructure> (дата обращения 17.04.2018); Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НДТ, 2017. 129 с. <http://www.burondt.ru/NDT/NDT-DocsDetail.php?UrlId=1140&etkstructure> (дата обращения 17.04.2018).

торинга водных объектов, результатах специальных полевых работ, сведениях о структуре поверхности водосборов и применении физико-статистических методов анализа.

В результате выполненных исследований установлено, что основным фактором, определяющим массу выноса биогенных веществ на территорию сопредельного государства, является объем стока, формирующийся в российской части бассейна р. Западная Двина. При современном уровне использования водных ресурсов и сложившейся структуре естественных и антропогенно-измененных ландшафтов, вынос валового азота составляет от 2070 до 5710 т/год при стоке обеспеченностью 95 и 5%, а валового фосфора — от 359 до 959 т/год. При этом суммарное поступление в гидрографическую сеть бассейна составляет по валовому азоту соответственно — 4290 и 11600 т/год, а валового фосфора — 430 и 4300 т/год. Основной вклад в биогенное поступление в водные объекты дают природные диффузные источники, за счет которых формируется 68 и 63% общей нагрузки валовым азотом и валовым фосфором. Среди антропогенных источников диффузной нагрузки основной вклад вносят используемые в сельском хозяйстве земли — около 27%. Точечные источники загрязнения дают не более 1–2% общей биогенной нагрузки.

Прогнозная оценка поступления валового азота и фосфора в российской части реки Западная Двина и их выноса на территорию Беларуси, выполненная с учетом ожидаемого дополнительного введения в оборот сельскохозяйственных земель, увеличения количества крупного рогатого скота, свиней, птиц и внедрения наилучших доступных технологий в сельскохозяйственном производстве показала их незначительное увеличение в пределах 2%.

Полученные результаты могут быть использованы в работе Совместной Российско-Белорусской Комиссии по охране и использованию трансграничных водных объектов для обоснования позиции российской стороны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брюханов А.Ю. Методы проектирования и критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающие экологическую безопасность: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: Санкт-Петербургский аграрный ун-т (ФГБУ ВО СПб ГАУ), 2017. 440 с.
- 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.
- Кокорев А.В., Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Программные средства автоматизации инженерных гидрологических расчетов // Руководство пользователя HydroStatCalc. 2011. <http://www.hydrology.ru/ru/content/rukovodstvo-polzovatelya-programmy-hydrostatcalc>
- Кондратьев С.А. Моделирование абиотических процессов в системе водосбор-водоем. СПб.: Нестор-История, 2010. 116 с.
- Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета // РД-АПК 1.10.15.02-17. М., 2017. 167 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Л.: Гидрометеиздат, 1963. Т. 5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. 304 с.
- Степанова Е.В. Геоэкологическое обоснование предельных уровней экспорта биогенных элементов с территорий стран бассейна Балтийского моря: Дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ), 2009. 223 с.
- Brandt M., Ejhed H., Rapp L. Nutrient loads to the Swedish marine environment in 2006. Report 5995. Stockholm: Swedish environmental protection agency, 2009. 95 p. ISBN 978-91-620-5995-8.pdf.
- Pitkänen H. Eutrophication of the Finnish coastal waters: origin, fate and effects of riverine nutrient fluxes // National Board of Waters and the Environ. Helsinki: Publications of the Water and Environment Research Institute, 1994. № 18. 44 p.

Assessment and Forecast of Nutrient Loading from the Russian Part of the Zapadnaya Dvina River Basin to Belarus

V. Yu. Georgievsky^{1, *}, L. P. Alekseev¹, A. Yu. Bryukhanov^{2, **}, D. V. Georgievsky¹, P. A. Golosovsky¹, E. A. Grek¹, V. V. Kostko¹, O. M. Kuznetsova¹, T. G. Molchanova¹, N. S. Oblomkova², and T. V. Fuksova¹

¹State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

²Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, St. Petersburg, Russia

*e-mail: georg@ggi.nw.ru

**e-mail: sznii@yandex.ru

Total nitrogen and phosphorus loading to the territory of the Republic of Belarus with the transboundary rivers of Zapadnaya Dvina basin (Zapadnaya Dvina, Kasplya, Svolnya, Usvyacha, Ushcha rivers) was evaluated

based on materials of the state water bodies monitoring. It has been revealed that interannual changes in loading are mainly determined by the river runoff volume. This allowed assessing volumes of total nitrogen and phosphorus loading in years of different water yield. In the research basin, total nitrogen and phosphorus loading from point sources is 1–2% of the entire loading. Assessing the diffuse loading was carried out based on statistical data on land use within the basin, 2016. According to this data, 88% of the underlying surface is natural, and only 12% is anthropogenically altered. At the current level of water resources use and the existing landscapes, the total nitrogen loading to the hydrographic network of the basin is 4290 tons/year, at 95% runoff probability, and 11 600 tons/year in high water years, at 5% probability; and 430 and 4300 total phosphorus tons/year, respectively. Natural sources make the main contribution, more than 60% of the total loading. Total nitrogen loading varies 2070 to 5710 tons/year at 95% and 5% runoff probability; and total phosphorus – 359 to 959 tons/year. The projections, based on the planned changes in agricultural production, subject to the introduction of the best available technologies, have shown an insignificant increase in nutrient loading to water bodies of the Russian part of Zapadnaya Dvina basin and a corresponding increase in their removal to Belarus up to 2%.

Keywords: Zapadnaya Dvina River basin, nutrients, loading, diffuse sources, assessment, forecast

REFERENCES

- Brandt M., Ejhed H., Rapp L. *Nutrient Loads to the Swedish Marine Environment in 2006*. Report no. 5995 of Swedish Environmental Protection Agency. Stockholm, 2009. 95 p.
- Bryukhanov A.Yu. Design methods and criteria for the evaluation of utilization technologies of manure and droppings, providing environmental safety. *Doctoral Sci. (Techn.) Dissertation*. St. Petersburg: St. Petersburg Agrarian Univ., 2017. 440 p.
- Bryukhanov A.Yu., Kondrat'ev S.A., Oblomkova N.S., Ogluzdin A.S., Subbotin I.A. The method for determining the nutrient load on water bodies from agricultural production. *Tekhnologii i Tekhnicheskie Sredstva Mekhanizirovannogo Proizvodstva Produktsii Rasteniyevodstva i Zhivotnovodstva*, 2016, vol. 89, pp. 175–183. (In Russ.).
- Kokorev A.V., Rozhdestvenskii A.V., Lobanova A.G. *Programmye sredstva avtomatizatsii gidrologicheskikh raschetov. Rukovodstvo pol'zovatelya HydroStatCalc* [Software Tools For Automation Of Hydrological Engineering Calculations. HydroStatCalc User Manual]. St. Petersburg, 2015. Available at: <http://www.hydrology.ru/ru/content/rukovodstvo-polzovatelya-programmy-hydrostatcalc> (accessed: 29.12.2021). (In Russ.).
- Kondrat'ev S.A. *Modelirovanie abioticheskikh protsessov v sisteme vodosbor-vodoem* [Modeling Abiotic Processes in a Catchment-Water Reservoir System]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2010. 116 p.
- Methodical Recommendations on Technological Designing Systems of Manure and Bird Droppings Removal and Preparation for Use. AIC-RD 1.10.15.02-17. Moscow. 2017. 167 p. (In Russ.).
- Pitkänen H. *Eutrophication of the Finnish Coastal Waters. Origin, Fate and Effects of Riverine Nutrient Fluxes*. Publications of the Water and Environment Research Institute, no. 18. Helsinki: National Board of Waters and the Environment, 1994. 44 p.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'* [USSR Surface Water Resources. Hydrological Study]. Vol. 5: *Belorussiya i Verkhnee Podneprov'e* [Belarus and the Upper Dnieper]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1963. 304 p.
- Stepanova E.V. Geoecological basis for limiting levels of exports of nutrient elements from the territories of the countries of the Baltic Sea basin. *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorol. Univ., 2009. 223 p.