

МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Введение. Значительная антропогенная нарушенность природных комплексов Белорусского Полесья обусловлена мелиоративным освоением обширных территорий, добычей полезных ископаемых, лесохозяйственной деятельностью, строительством инфраструктуры и последствиями катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции. Все это привело к коренному преобразованию водного, теплового, агрохимического режимов территорий, глубокой перестройке пространственной структуры и внешнего облика ландшафтов, трансформации флористических и фаунистических комплексов, обеднению биоразнообразия. В связи с осушением больших территорий существенно была преобразована гидрографическая сеть, изменились морфометрические характеристики водных объектов, извилистость, уклоны, площадь водной поверхности, характеристики водосборов, речного стока и внутригодового его распределения, снизились уровни грунтовых вод на 1,0–1,5 м, уровни в реках. Создание объектов защиты населенных пунктов от наводнений путем строительства инженерных противопаводковых заграждений отразилось на гидрологическом режиме рек, биологических функциях пойменных и лесных экосистем. Серьезную экологическую опасность для подземных и поверхностных вод представляет разведка и разработка нефтяных месторождений, а также других полезных ископаемых.

Методика исследования. Для обнаружения цикличности, анализа устойчивости циклов или изменчивости во времени используется процедура спектрально-временного анализа, а также анализ параметра хаотизации. Для оценки тенденции будущих значений ряда используются тренды. В данной работе, тренд выделяется по методу наименьших квадратов способом скользящей средней. Для выявления изменений минимального стока под воздействием природных и антропогенных факторов рассматриваемый отрезок времени был разбит на три различных по уровню хозяйственной деятельности периода (1881 – 1930, 1931 – 1964, 1965 – 2015): *первый период* характеризуется довольно примитивной системой земледелия и экстенсивным ведением сельского хозяйства; *второй* отличается применением более высокой агротехники и интенсификацией сельскохозяйственного производства; *третий* характеризуется началом крупномасштабной мелиорации на Полесье, строительством крупных гидротехнических сооружений (водохранилища Селец, Любанское, Солигорское и др.).

Для выявления пространственной структуры изменения минимального стока по минимальным расходам нами выполнен комплексный анализ временных рядов. Имеющиеся ряды наблюдений были разбиты на два периода: с начала наблюдений до 1965 года (начало крупномасштабных мелиораций) и с 1966 года до настоящего времени. При этом выбраковывались ряды с периодом наблюдений менее 15 лет хотя бы за один из периодов. После выборки были определены величины изменения минимального стока как:

$$k_i = \frac{Q_{cp2} - Q_{cp1}}{\bar{Q}}$$

где Q_{cp1} , Q_{cp2} – средние значения годового стока за период до 1965 года и с 1966 до настоящего времени, соответственно; \bar{Q} – норма минимального стока.

Обсуждение результатов. К настоящему времени имеются ряды наблюдений более 120 лет, что позволяет выделять циклы и давать прогнозные оценки. Совместный анализ СВАН-диаграмм и временных распределений параметров хаотизации показал наличие циклов на реках Полесья от 2-х до 33-х лет (рисунок 1, 2). В подавляющем большинстве доминирующими циклами являются 2–3, 4–6 и 11–13-летние; реже отмечаются 8, 14-летние циклы, а наиболее устойчивые из них 3, 4, 5 и 33-летние (таблица 1, 2). Однако наблюдается изменение длительности циклов, особенно резкие изменения характерны для р. Припять.

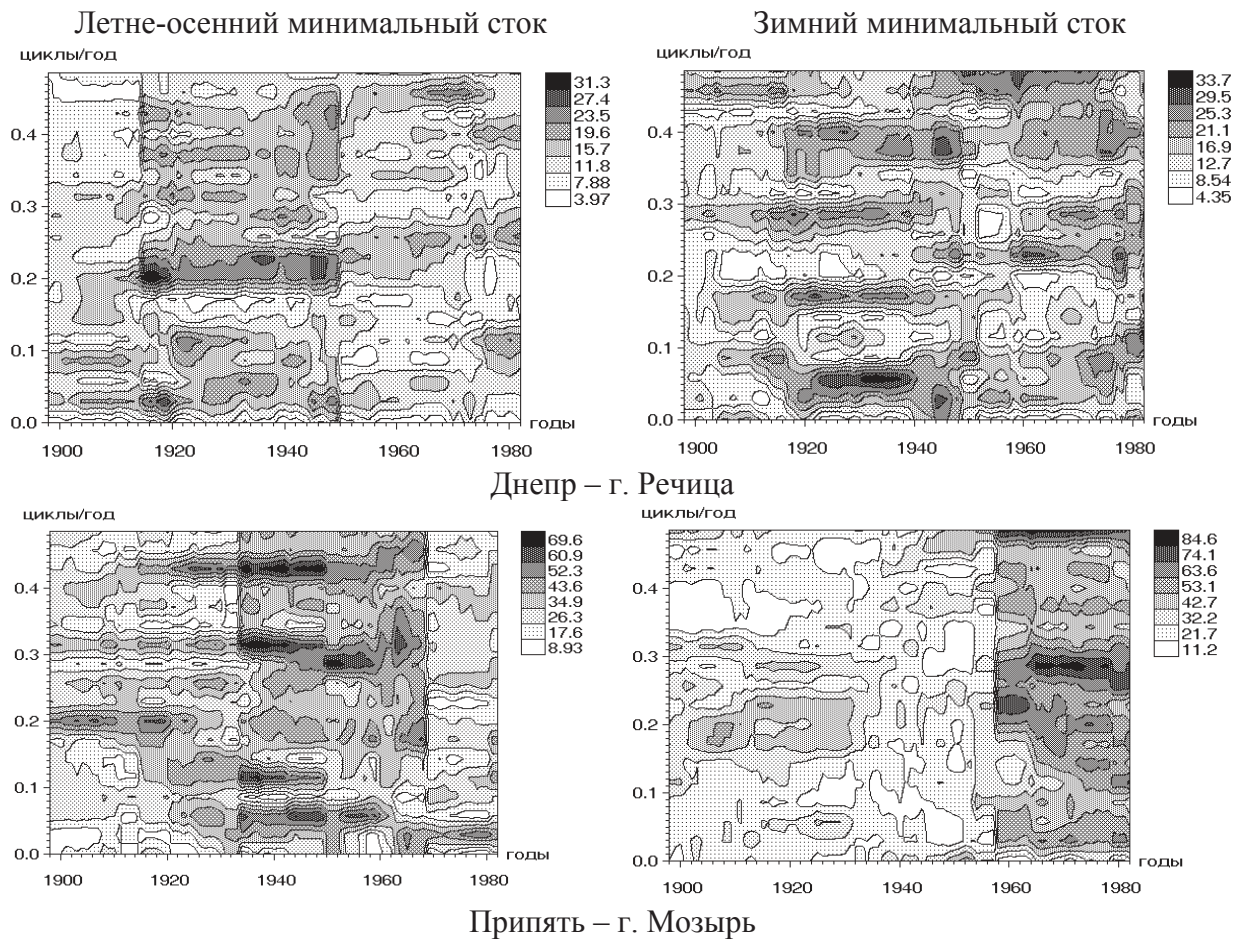


Рисунок 1 – СВАН-диаграммы летне-осенних и зимних минимальных расходов воды рек Беларуси

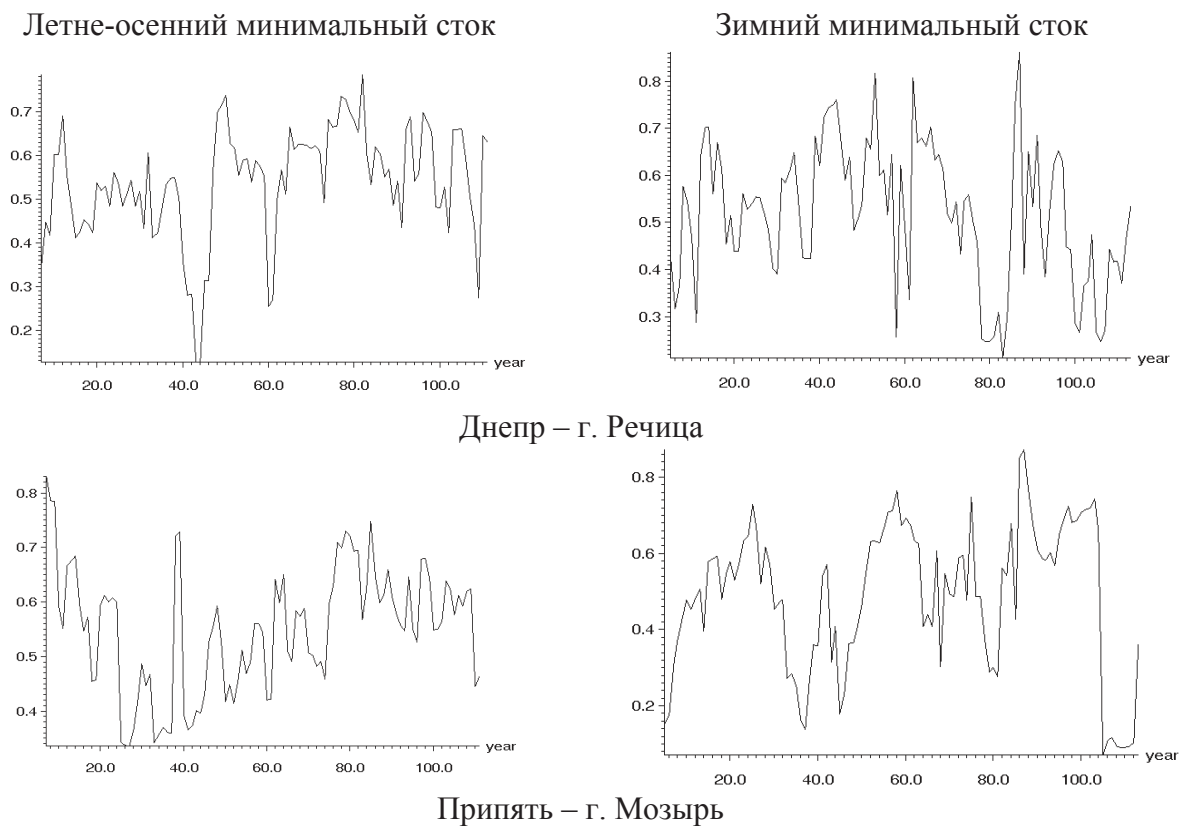


Рисунок 2 – Распределение параметра хаотизации временных рядов минимального расхода воды основных рек Беларуси

Таблица 1 – Цикличность временных рядов минимальных расходов воды рек Полесья

Река – створ	Летне-осенний минимальный сток				
	размах колебаний	амплитуда	годы	циклы	преобладающие амплитуды
1	2	3	4	5	6
Мухавец – г. Брест	0,70-5,58	4,88	1902-1920	33	2,09
			1958-1982	33	2,09
			1954-1982	4	5,58
			1958-1982	3	3,49
Днепр – г. Речица	3,97-31,30	27,33	1902-1924	33	23,5
			1916-1950	5	27,4-31,3
			1916-1950	3	15,7-19,6
			1926-1938	17	19,6
			1962-1982	4	19,6
Сож – г. Гомель	3,17-25,30	22,13	1900-1916	11	15,8
			1916-1950	17	22,1
			1916-1950	10	19,0
			1916-1950	5	19,0-25,3
			1952-1982	2	12,7
Припять – г. Мозырь	8,93-69,60	60,67	1888-1922	5	60,9
			1920-1970	2	
			1934-1962	20	52,3
			1934-1967	3	69,6
			1934-1950	9	60,9
			1964-1982	25	52,3
Птичь – с. Лучицы	1,03-7,80	6,77	1902-1936	5	4,9-5,87
			1946-1980	2	5,87
			1963-1982	3,3	4,90
			1964-1982	6,7	4,9
Зимний минимальный сток					
Мухавец – г. Брест	0,51-3,95	3,44	1910-1980	33	3,46-3,95
			1950-1982	3	2,48
			1904-1940	5	1,50-2,48
Днепр – г. Речица	4,35-33,70	29,35	1900-1916	2	21,1-25,5
			1918-1944	6	25,3
			1922-1940	17	33,7
			1940-1952	3	29,5
			1958-1976	5	29,5
Сож – г. Гомель	2,39-19,10	16,71	1888-1916	33	19,1
			1906-1922	11	19,1
			1920-1934	8	19,1
			1942-1952	13	9,57
			1952-1960	6	9,57
			1958-1980	4	14,3
			1964-1982	6	14,3
Припять – г. Мозырь	11,2-84,6	73,4	1902-1930	5	42,7
			1944-1958	2	42,7
			1958-1982	4	84,6
			1958-1982	25	53,1
			1958-1982	2	84,6
Птичь – с. Лучицы	0,60-4,47	3,87	1898-1910	11	3,92
			1898-1920	5	3,92
			1898-1920	3	3,92
			1920-1946	10	3,92-4,47
			1962-1982	2,5	4,47
			1960-1982	17	3,92

Таблица 2 – Характеристики параметра хаотизации

Река – створ	Летне-осенний минимальный сток		Зимний минимальный сток	
	размах колебаний	амплитуда	размах колебаний	амплитуда
Мухавец – г. Брест	0,17-0,82	0,80	0,12-0,92	0,65
Днепр – г. Речица	0,22-0,87	0,68	0,16-0,84	0,65
Сож – г. Гомель	0,18-0,83	0,77	0,15-0,92	0,65
Припять – г. Мозырь	0,20-0,80	0,79	0,08-0,87	0,60
Птичь – с. Лучицы	0,18-0,80	0,64	0,15-0,79	0,62

Минимальные расходы воды в летне-осеннюю и зимнюю межень распределялись по трем классам водности:

- годы с маловодьями (s_1) ($p > 66\%$);
- годы со средней водностью (s_2) ($33 \leq p \leq 66\%$);
- годы с многоводьями (s_3) ($p < 33\%$).

Затем анализировались ряды стока, представляющие собой последовательность маловодных, средневодных и многоводных лет, и подсчитывалось количество в многолетнем ряду соответствующих классов водности (т.е. определялась их абсолютная частота) в период 1881-2015 гг. Необходимо иметь также в виду, что водосборы рек Полесья относятся к районам, где степень использования пахотных земель значительно возросла в послевоенные годы. Исследование частот лет *летне-осеннего* минимального стока различной водности каждого из периодов позволяет констатировать:

- в первом периоде (1881-1930 гг.) в бассейне р. Днепр заметно преобладали годы с пониженной водностью, в бассейне р. Припять годы со средней водностью;
- во втором периоде (1931-1964 гг.) в бассейне р. Припять увеличилось число лет с пониженной водностью, а в бассейне р. Днепр увеличилось число лет с пониженной и средней водностью;
- в третьем периоде (1965-2015 гг.) в бассейнах всех исследуемых рек преобладают годы с повышенной водностью.

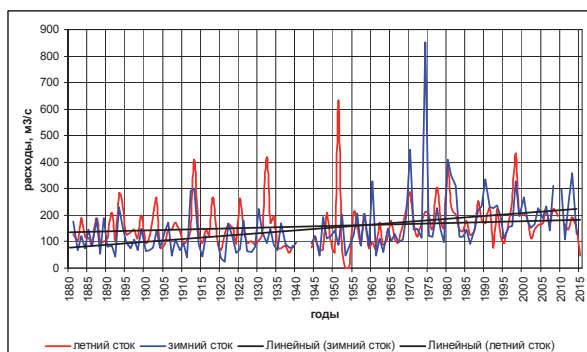
Для *зимнего* минимального стока характерно:

- в первый период в бассейне р. Западный Буг преобладают годы со средней водностью, а в бассейнах рр. Днепр и Припять большинство составляют маловодные годы 74 % и 83 % соответственно;
- второй период в различных бассейнах характеризуется по-разному: в бассейнах рр. Припять и Днепр преобладают годы со средней водностью, а в бассейне р. Западный Буг – годы с пониженной водностью.
- для третьего периода характерна повышенная водность для всех рек Беларуси в бассейнах р. Днепр – 98 %, р. Припять – 85 %, р. Западный Буг – 69 %.

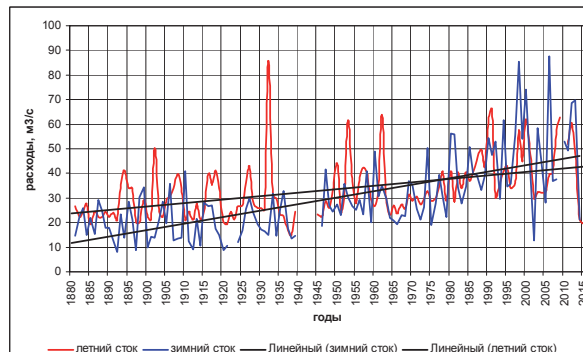
Тенденция увеличения минимального стока характерна как для летне-осенней межени, так и для зимней. Следовательно, в анализируемых рядах стока имеет место положительный тренд.

Исследование временных рядов многолетних колебаний летне-осеннего и зимнего минимальных расходов воды показывает наличие положительных (80 % исследуемых рек) и отрицательных (20 %) трендов (рисунок 3).

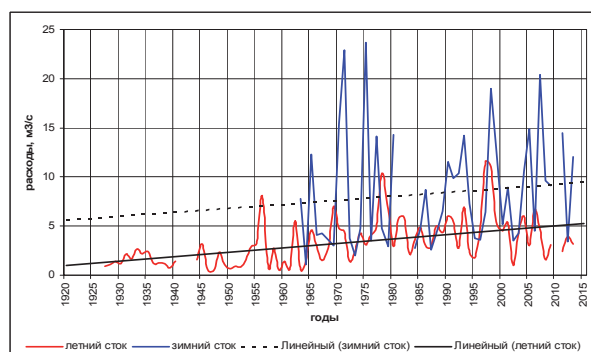
Из таблицы 3 следует, что для большинства исследуемых рек отмечается стабильная тенденция увеличения летне-осенних (71 % исследуемых рек) и зимних (90 %) минимальных расходов воды, при чем на большей части рек градиент изменения стока в зимний период больше, чем в летне-осенний. Градиент изменения стока наибольшие значения принимает на рр. Днепр, Припять, Сож.



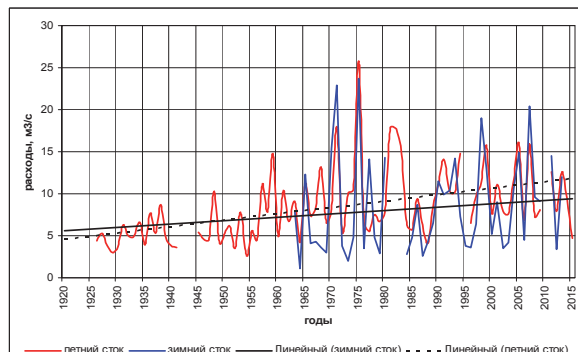
Припять – г. Мозырь



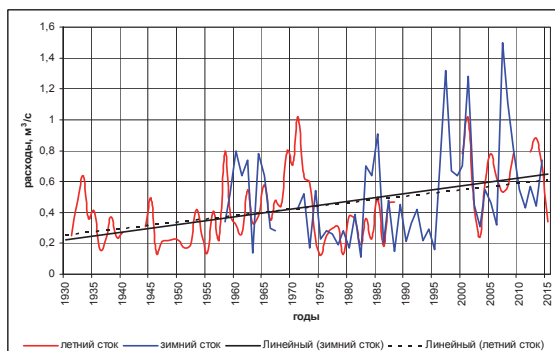
Днепр – г. Орша



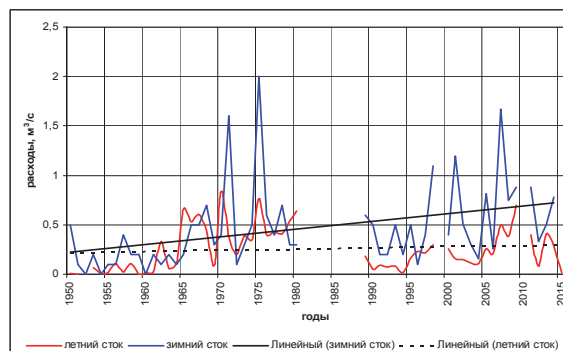
Уборть – д. Краснобережье



Оресса – д. Андреевка



Уза – д. Прибор



Копаявка – д. Черск

Рисунок 3 – Графики многолетних колебаний минимальных расходов воды

Так как во временных рядах существует устойчивый тренд, его можно использовать для прогноза. Тренд отражает динамику с очень большим моментом инерции, и изменения, определяемые такой динамикой, не могут моментально изменить свое направление.

Результаты расчетов коэффициентов изменения минимального стока рек (k_i) позволяют сделать следующие выводы:

- на большинстве исследуемых рек (до 80 %) и летне-осенний и зимний минимальный сток увеличился;
- на 5 % и летне-осенний и зимний минимальный сток уменьшился;
- на 5 % летне-осенний увеличился, а зимний уменьшился;
- на 10 % летне-осенний уменьшился, а зимний минимальный сток увеличился.

Летне-осенний минимальный сток увеличился на 85 % исследуемых рек, из них на 49 % рек сток значимо ($k_i \geq 0,27$). На 18 % изучаемых объектов (рр. Ясельда, Оресса, Сло-вечна, Чертень, Вить, Мухавец, Жабинка, Копаявка) сток увеличился более чем в 2 раза. Уменьшился летне-осенний минимальный сток на 15 % исследуемых рек, из них только на р. Случь (г. Старобин) значимо, что связано со строительством водохранилища. На р. Случь в 1967 г. построено Солигорское водохранилище для обеспечения водой предприятий «Беларуськалий» и питания рыбоводного хозяйства «Старобин».

Таблица 3 – Параметры линейных трендов минимальных расходов воды рек Беларуси

Река – пост	Минимальный сток			
	Летне-осенний		Зимний	
	Градиент изменения стока α , м ³ /с/10 лет	Коэффициент корреляции, r	Градиент изменения стока α , м ³ /с/10 лет	Коэффициент корреляции, r
Копаяювка – с. Черск	0,02	0,14	0,07	0,37
Мухавец – г. Брест	-1,04	0,43	-0,05	0,00
кан. Ореховский – с. Меленково	0,02	0,04	0,20	0,18
Рыта – с. Малые Радваничи	-0,04	0,14	0,06	0,09
Малорита – г. Малорита	-0,08	0,46	0,02	0,04
Лесная – с. Тюхиничи	-0,43	0,35	-0,22	0,10
Днепр – г. Речица	2,80	0,28	11,99	0,68
Березина – г. Бобруйск	0,25	0,08	1,39	0,40
Сож – г. Гомель	1,58	0,19	4,54	0,48
Уза – с. Прибор	0,04	0,46	0,05	0,27
Верхняя Брагинка – с. Рудня	0,03	0,12	0,10	0,33
Припять – г. Туров	5,85	0,30	9,90	0,29
Припять – г. Мозырь	3,49	0,16	11,00	0,40
Неслуха – с. Рудск	0,01	0,12	0,06	0,21
Ясельда – с. Сенин	0,59	0,36	1,31	0,32
кан. Винец – с. Рыгали	0,01	0,24	0,07	0,58
Меречанка – с. Красеево	0,01	0,17	0,03	0,38
Цна – с. Дятловичи	0,11	0,31	0,27	0,33
Горынь – пос. Речица	1,80	0,38	2,10	0,16
Лань – с. Мокрово	-0,40	0,32	0,53	0,31
Случь – с. Ленин	-0,30	0,20	0,16	0,05
кан. Бычок – с. Озераны	-0,04	0,36	-0,05	0,23
Свиновод – с. Симоничи	0,00	0,10	0,09	0,48
Уборть – с. Краснобережье	0,44	0,46	0,40	0,11
Птичь – Лучицы	0,72	0,37	1,10	0,40
Шать – Шацк	-0,04	0,37	0,05	0,31
Доколька – с. Бояново	0,02	0,21	0,04	0,05
Оресса – с. Анреевка	0,32	0,30	0,76	0,46
Примечание – Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции на 5% уровне значимости.				

Зимний минимальный сток увеличился на 90 % исследуемых рек, из них на 53 % рек увеличился значимо ($k_i \geq 0,27$), на 20 % более чем в 2 раза (Ясельда, Оресса, Лань, Цна, Словечна, Чертень, Вить, Мухавец, Жабинка, Копаяювка). Зимний минимальный сток уменьшился на 10% рек, в большинстве своем это реки бассейна р. Западный Буг.

Увеличение летне-осеннего минимального стока может быть связано с осушительными мелиорациями, в результате которых были сброшены, частично, вековые запасы грунтовых вод верхнего горизонта. Кроме того, произошло увеличение проводящей сети. Ранее влага накапливалась в торфяных болотах и расходовалась на испарение, после устройства осушительных каналов уменьшились пути фильтрации, вода быстрее попадает в систему мелиоративных каналов. Осушение и освоение болот способствовало перераспределению объемов стока, а также уменьшению поверхностного стока и увеличению подземного стока. Поверхностный сток уменьшается за счет большой аккумулирующей емкости зоны аэрации освоения болот, а подземный сток увеличивается за счет более интенсивного дренирования вод осушительными системами. Увеличение зимнего минимального стока обусловлено в большей степени климатическими факторами. Выявленные изменения

зимнего минимального стока могут быть вызваны общей тенденцией потепления климата и в частности увеличением количества оттепелей в зимний период. Регулярно наблюдаемые в природе периоды временного снижения и повышения водности рек связаны с изменением климатических элементов (осадки, температура воздуха), вызываемых причинами планетарного (общая циркуляция атмосферы) характера.

УДК 556.5 (1/9)

Я.В. Цыбульская, канд. хим. наук, Е.Е. Петлицкий, Н.А. Асмаловский
Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР»), г. Минск

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

Подавляющее число водных объектов в той или иной степени испытывает различно-го рода антропогенную нагрузку. Введение в эксплуатацию новых объектов хозяйствования, в частности больших свиноводческих комплексов, усугубляет существующие проблемы.

В Псковской области с 2010 г. начато строительство и постепенный ввод в эксплуатацию большого количества свиноводческих комплексов, мощностью 24 тыс. голов и более каждый, ряд из которых расположен на водосборах трансграничных водных объектов. Такие комплексы являются потенциальным источником загрязнения окружающей среды, в том числе и водных объектов. Функционирование комплексов связано со значительным водопотреблением и образованием большого количества сточных вод, требующих надежных методов их утилизации [1, 2].

На свиноводческих комплексах, построенных в Псковской области, утилизация их происходит посредством бактериологической переработки накопленных в «лагунах» приблизительно в течение года стоков и дальнейшем вывозе их в качестве удобрения на земельные угодья комплексов, где будут выращиваться кормовые культуры. При недостаточной гидроизоляции «лагун» через стенки и дно может происходить фильтрация стоков и загрязнение подземных вод, которое не ограничивается территориями комплексов, хранилищ отходов, а распространяется вниз по течению потока на значительные расстояния, питая поверхностные воды и загрязняя их. Внесенные на сельскохозяйственные угодья в большом количестве переработанные стоки в качестве удобрения, также является источником загрязнений водосборной территории.

Поэтому представляется актуальным на границе Витебской и Псковской областей проведения мониторинга гидрохимического состояния трансграничных участков малых рек, на водосборе которых находятся свиноводческие комплексы.

РУП ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов в мае и августе 2015 г., а также в зимний (февраль), весенний (май) и летний (август) периоды текущего года проведена оценка качественных характеристик пяти трансграничных водных объектов по наиболее информативным показателям, в наибольшей степени отражающих возможные загрязнения от функционирования свиноводческих комплексов: БПК₅, ХПК, биогенные элементы (азот аммиачный, нитратный и нитритный, фосфор фосфатный и общий), содержание растворенного кислорода, рН, нефтепродукты и СПАВ.

Объекты исследования – р. Нища – на границе Россонского района с Себежским районом (на территории ландшафтного заказника «Красный Бор»), р. Уща – севернее н.п. Перевоз (территория ландшафтного заказника «Синьша») на границе Россонского района с Себежским районом, на водосборе которой находится 3 свиноводческих комплекса, р. Оболь – у истока в н.п. Езерище и северо-западная часть оз. Езерища с