

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЕЙ ВОДОСБОРА РЕКИ ВЕЛИКАЯ

Целью работы является оценка выноса азота и фосфора с различных частей водосбора реки Великая. Исходными материалами для исследования являются данные наблюдений на реке Великая за концентрациями различных форм азота и минерального фосфора, а также за расходами воды за период с 1969 по 2009 годы. В работе рассматриваются 3 пункта наблюдений: г. Опочка, г. Остров и г. Псков. Для более корректной оценки объемов стока из исходных рядов наблюдений значений измеренных концентраций были исключены так называемые выбросы, значения выходящие в критическую область законов распределения рассматриваемых рядов. В качестве методов исследований используется широкий спектр статистических средств обработки информации и метод территориальных обобщений. В результате было выявлено, что наибольшее поступление аммонийного, нитритного и нитратного азота наблюдается с межгородских частей водосбора р. Великой. Причем наибольшее поступление наблюдается с части водосбора р. Великой между городами Остров и Псков. По средним многолетним данным наибольший вынос фосфора минерального наблюдается с территории города Псков. Наименьший вынос практически всех рассматриваемых биогенов характерен для города Опочка, наибольший – для города Псков. Анализ основных числовых характеристик показал, что ряды среднегодовых значений объемов стока между створами наблюдений обладают большой изменчивостью и в некоторых случаях высокой степенью асимметрии.

Ключевые слова:

биогены, качество поверхностных вод, объем стока, река Великая, часть водосбора, числовые характеристики, экстремальные значения концентраций.

Рост водоснабжения городов и промышленных предприятий неразрывно связан с увеличением количества сточных вод, образующихся после использования воды [3, с. 175]. Однако оценки только пространственной и временной динамики значений концентраций содержащихся в воде веществ не достаточно для разработки эффективных природоохранных мероприятий и планирования хозяйственной деятельности. Для более рационального подхода к охране вод и адекватного планирования хозяйственной деятельности необходимо рассматривать реку и её водосбор как единую целостную систему [2, с. 22]. Особую роль здесь играет оценка поступления веществ с различных частей водосбора. В результате подобной оценки возможно выявить наиболее загрязненные участки водосбора, более детально оценить поступление биогенных элементов от отдельных городских поселений или не урбанизированных территорий. Это позволит разработать специфические природоохранные мероприятия для отдельной части водосбора и поможет более эффективно управлять территорией.

В качестве объекта исследования выбрана река Великая. Это обусловлено тем, что Великая является крупнейшей рекой, впадающих в Псковско-Чудскую озерную систему. В современном мире одной из ак-

туальнейших проблем является трансграничный перенос загрязняющих веществ, поэтому оценить степень загрязнения реки и объем выноса в Псковско-Чудское озеро биогенных элементов необходимо для оценки вклада реки Великая в общее загрязнение озера.

В связи с этим целью работы является оценка выноса азота и фосфора с различных частей водосбора реки Великая.

Материалы и методы

Исходными материалами для исследования являются данные наблюдений на реке Великая за концентрациями аммонийного азота ($N-NH_4$), нитритного азота ($N-NO_2$), нитратного азота ($N-NO_3$) и минерального фосфора ($P-PO_4$), а также за расходами воды за период с 1969 по 2009 годы. В работе рассматриваются 3 пункта наблюдений на реке Великая: г. Опочка, г. Остров и г. Псков, каждый пункт наблюдения содержит два створа, расположенные выше и ниже города. Данные представлены Северо-Западным межрегиональным территориальным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС). В исходных рядах наблюдений имеются незначительные пробелы. Так, в рядах среднегодовых концентраций нитратного азота отсутствуют данные за период 1972–1977 гг., а ряды среднегодовых концентра-

ций минерального фосфора начинаются с 1978 г. на всех створах наблюдения.

В качестве методов исследований используется широкий спектр статистических средств обработки информации и метод территориальных обобщений. Проводится сопряженный анализ гидрохимического и водного режимов речных вод. Достоверность оценок и результатов обеспечивается использованием в качестве информационной базы материалов государственной системы наблюдений за состоянием поверхностных вод, применением стандартных методов математической обработки данных наблюдений.

Для оценки объемов стока исследуемых элементов по длине реки Великая в Псковское озеро, а также анализа динамики выноса по длине реки Великая по рядам среднегодовых концентраций был рассчитан объём стока по формуле 1:

$$W_i = Q_i * S_i \text{ [т/год]}, \quad (1)$$

где Q_i – расход воды за i -й год, м³/год; S_i – среднегодовая концентрация за i -й год, т/м³ [4, с. 70].

Для анализа объемов стока между конкретными створами мы воспользовались формулой 2:

$$\Delta W = W_n - W_b \text{ [т/год]}, \quad (2)$$

где W_n – объём стока в створе, расположенном ниже по течению реки, т/год; W_b – объём стока в створе, расположенном выше по течению реки, т/год [4, с. 70].

Анализ изменений стока биогенных элементов по длине реки Великая позволяет сопоставить выносы в отдельных створах реки, к тому же, данный анализ даёт возможность оценить приращение стока с отдельных частей водосбора, в том числе с территории города Псков. Это необходимо, так как город Псков является крупнейшим городом области и промышленным центром.

Также для более корректной оценки объемов стока из исходных рядов наблюдений значений измеренных концентраций были исключены так называемые выбросы – значения выходящие в критическую область законов распределения рассматриваемых рядов [7, с. 113]. Это позволило оценить объёмы стока исследуемых веществ в условиях стационарной антропогенной нагрузки без влияния значений, полученных в результате аварийных сбросов предприятий и влияния неблагоприятных гидрометеорологических условий [7, с. 113].

Для оценки особенностей полученных рядов среднегодовых значений объемов

стока между различными створами наблюдений (ΔW) были рассчитаны их основные числовые характеристики (оценка математического ожидания, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии). Данный минимальный набор числовых характеристик позволяет судить о характере распределения значений ряда [5, с. 35].

Результаты и выводы

В результате проведенных исследований была проведена оценка выноса различных форм азота и минерального фосфора с различных частей водосбора реки Великая. В частности, была проведена оценка среднегодовых значений ΔW между верхним и нижним створами пунктов г. Опочка, г. Остров и г. Псков, что позволило оценить вынос биогенов с территории этих населенных пунктов, а также между нижним створом пункта г. Опочка и верхним створом г. Остров и между нижним створом пункта г. Остров и верхним створом г. Псков, что позволяет проанализировать вынос биогенов с неурбанизированных территорий. Рассмотрим результаты для каждого биогенного элемента.

Аммонийный азот. На рис. 1 представлена временная динамика изменения объемов стока между створами наблюдения. Здесь и далее $W_{оп}$ – объём стока с территории города Опочка, $W_{оо}$ – сток между Опочкой и Островом, $W_{ос}$ – сток с территории города Остров, $W_{осп}$ – сток между городами Остров и Псков и $W_{п}$ – сток с территории города Псков.

Как видно из представленных данных, до начала 1980-х гг. объём стока с территорий между городских поселений существенно превышал вынос с городских территорий, что позволяет сделать вывод о том, что в данный период основным источником поступлений аммонийного азота в реку с территории водосбора являлся смыв с сельскохозяйственных полей. Важно отметить, что в данный период действительно в регионе исследования было интенсивно развито сельское хозяйство. Далее, с середины 1980-х по конец 1990-х гг. значения объемов стока незначительны и стремятся к нулю. Скорее всего, это связано со спадом промышленного производства в этот период. Исключение составляют лишь отдельные пики значений объемов стока (например в верхнем створе города Остров в 1987 г.), которые связаны с появлением в исходных рядах высоких разовых значений концентраций, которые, однако, выбросами со статистической точки

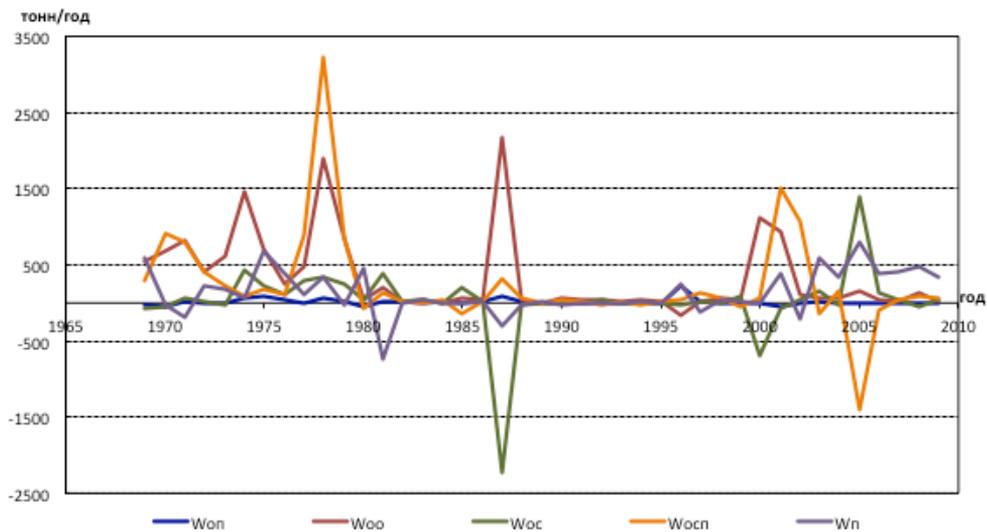


Рис. 1. Динамика изменения значений объемов стока аммонийного азота по длине реки Великая.

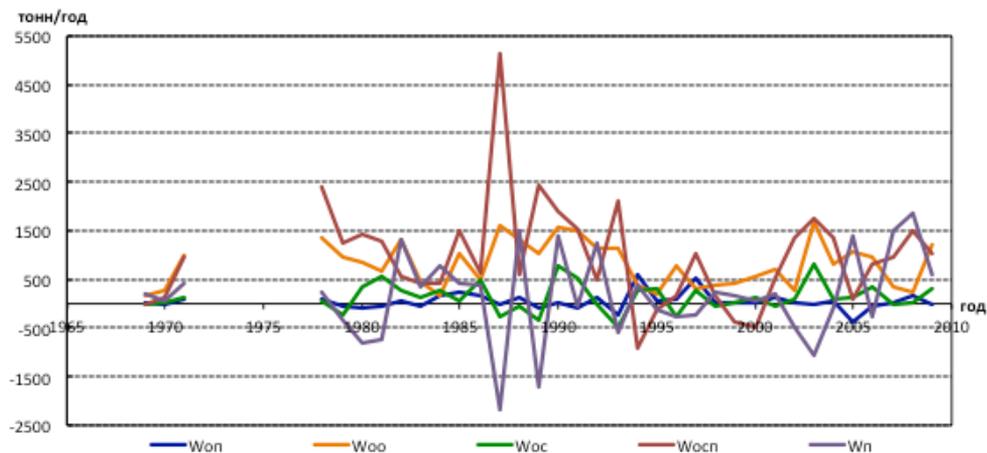


Рис. 2. Динамика изменения значений объемов стока нитратного азота по длине реки Великая.

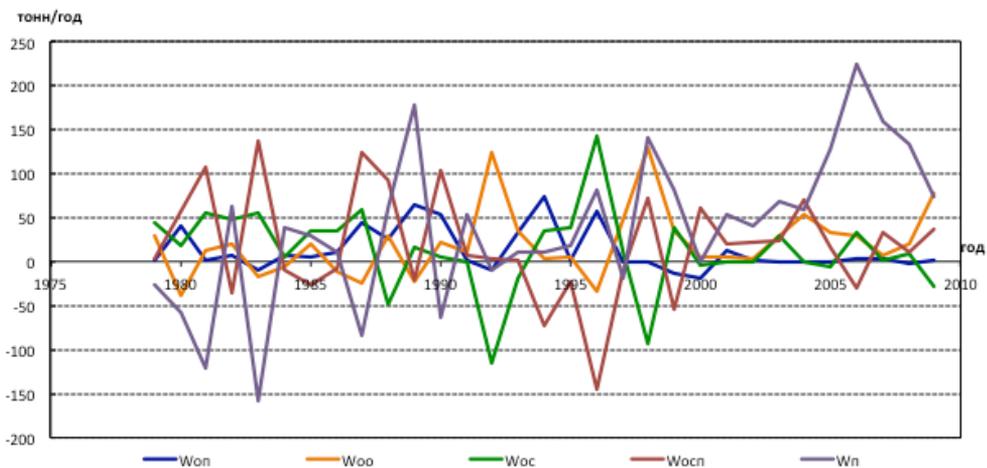


Рис. 3. Динамика изменения значений объемов стока минерального фосфора по длине реки Великая.

зрения не являются. Далее, с конца 1990-х наблюдается увеличение значений. И видно, что в данный период в большинстве случаев объем стока с территорий городов Остров и Псков превышает объем стока с межгородских территорий, что говорит о смене основного источника поступления биогенов воды реки на промышленные и коммунально-бытовые сточные воды. При этом на протяжении всего рассматриваемого периода вынос с территории города Опочка остаётся минимальным.

Нитритный азот. Так как нитритный азот – это самая неустойчивая форма соединений азота в природных водах, поэтому нет четкой динамики увеличения или уменьшения значений стока по длине реки. Наибольшие значения объемов выноса в отдельные годы характерны для территории города Псков, при этом эти значения как положительные, так и отрицательные. В целом к концу 1980-х заметно снижение амплитуды колебаний значений объемов стока и видна тенденция к снижению значений между всеми створами наблюдения.

Нитратный азот. Для нитратного азота практически на всем протяжении рассматриваемого периода характерен большой вынос с межгородских территорий. При этом наибольшая амплитуда колебаний наблюдается между городами Остров и Псков (рис. 2).

Это объясняется наибольшей антропогенной нагрузкой на эту часть водосбора в сравнении с частью между Опочкой и Островом. Также причиной может служить сброс неочищенных коммунально-бытовых сточных вод от прибрежных поселков и деревень, которые в большинстве случаев не имеют систем канализации и очистки сточных вод. Из всех городских территорий, наибольший вклад в загрязненность реки нитратным азотом вносит город Псков. Наименьшие значения объемов стока характерны для пункта г. Опочка.

Интересно, что для объема стока с территории Пскова характерны наибольшие отрицательные значения в отдельные годы. Возможно, это связано с процессами преобразования одних форм азота в другую. Следует отметить снижение значений объемов стока с середины 1990-х до начала 2000-х гг. При этом подъем значений после начала 2000-х менее существенен, чем в период 1980-х.

Минеральный фосфор. Из рис. 3 видно, что для значений объемов стока минерального фосфора характерна большая амплитуда колебания значений для всех пар створов. При этом выделить часть водосбора, для которой характерен наибольший или наименьший вынос, не представляется возможным. Это говорит о том, что невозможно определить единый ярко выраженный источник поступления фосфора в воды реки. Источниками могут быть и смывы с сельскохозяйственных полей, и коммунально-бытовые, и промышленные сточные воды крупных и мелких населенных пунктов.

Однако можно сказать, что наибольшая амплитуда характерна для стока с территории города Псков, а наименьшая – с территории города Опочка. Также можно отметить снижение амплитуды колебания значений стока с начала 2000-х гг. и преобладание в этот период положительных значений (то есть суммарное увеличение поступлений минерального фосфора со всех частей водосбора).

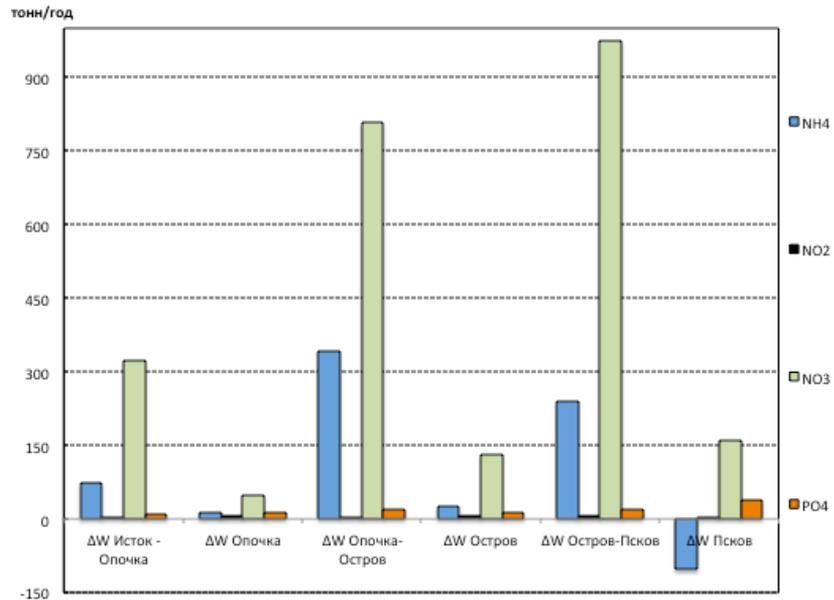


Рис. 4. Средние многолетние значения объемов стока биогенов с различных частей водосбора реки Великая.

Среднемноголетние значения объемов стока представлены на рис. 4. В целом выводы, полученные по результатам анализа временной динамики объемов стока справедливы и для средних многолетних значений. Для всех веществ, кроме нитратного азота, наименьший вынос наблюдается с территории города Опочка. Это связано с тем, что Опочка – сравнительно небольшой по площади и численности населения город из всех рассмотренных. Кроме того, уровень антропогенной нагрузки на эту территорию водосбора существенно ниже, чем на других участках (отсутствие крупных промышленных предприятий и относительный упадок сельского хозяйства в современный период).

Также, если говорить о городских территориях, наибольший вынос нитратного азота и минерального фосфора характерен для города Псков. Интересно отметить, что по средним многолетним данным, вынос аммонийного азота с территории города Псков является отрицательным, то есть концентрация снижается в пределах города. Это может быть связано с тем, что под действием бактерий нитрификаторов и при значительном поглощении кислорода происходит переход NH_4 в NO_2 ; учитывая большой

отрицательный сток кислорода во Пскове [6, с. 99], можно предположить наличие этого процесса.

Для межгородских территорий наибольший вынос аммонийного азота, нитритного и нитратного азота характерен для части водосбора между городами Остров и Псков. Это, как уже было отмечено, связано с тем, что антропогенная нагрузка на этой части территории выше (больше сельхоз угодий, больше крупных населенных пунктов по берегам реки). А объем стока с территорий, расположенных выше города Опочка, – наименьший для межгородских территорий.

Оценка основных числовых характеристик рядов приращений объемов стока рассматриваемых веществ в различных частях водосбора представлена в табл. 1. Здесь в первой колонке представлены названия числовых характеристик; во второй, третьей и четвертой колонке представлены значения числовых характеристик приращений стока в городах, в пятой, шестой и седьмой колонке – приращения этих характеристик между городами. Наибольшие значения коэффициентов вариации характерны для рядов объемов стока между верхним и нижним створами пункта Остров для аммонийно-

Таблица 1

Оценки основных числовых характеристик приращений объемов стока биогенов в различных частях водосбора реки Великая

Числовые характеристики	DW Опочка	DW Остров	DW Псков	DW Исток – Опочка	DW Опочка – Остров	DW Остров – Псков
аммонийный азот						
mx	13,2	26,2	-104	72,3	343	240
СКО	45,0	452	556	88,5	531	653
Cv	3,40	17,26	5,36	1,22	1,55	2,72
Cs	2,43	-2,47	-0,98	1,93	1,90	2,28
нитратный азот						
mx	7,59	5,59	3,84	3,30	3,84	7,68
СКО	14,2	17,3	49,4	3,0	16,5	36,7
Cv	1,87	3,10	12,85	0,91	4,30	4,78
Cs	1,76	1,44	2,44	0,22	-1,67	2,11
нитритный азот						
mx	48,2	132	160	323	807	973
СКО	172	294	892	197	462	1085
Cv	3,58	2,22	5,56	0,61	0,57	1,11
Cs	1,00	0,32	-0,32	0,65	0,21	1,50
фосфор минеральный						
mx	12,8	13,0	38,0	8,66	20,5	18,1
СКО	23,8	46,1	85,1	9,70	38,2	60,4
Cv	1,86	3,54	2,24	1,12	1,87	3,33
Cs	1,16	-0,36	-0,11	2,15	1,19	-0,16

го азота (17,3) и между створами пункта Псков для нитратного азота (12,8). Это говорит о большой амплитуде разброса значений относительно математического ожидания, то есть о высокой изменчивости ряда. Связано это с большими положительными и отрицательными значениями объемов стока в отдельные годы. Детальный анализ исходных рядов наблюдений показал, что в некоторые годы наблюдаются экстремально высокие значения измеренных концентраций. Однако проверка этих значений по критерию Диксона и с помощью оценки эмпирической кривой обеспеченности показала, что данные концентрации входят в доверительный интервал значений всего ряда и не являются выбросами со статистической точки зрения.

Для ряда участков реки значения коэффициентов асимметрии приращений стока рассматриваемых веществ отрицательны. По видимому, на рассматриваемом участке характерно смещение общей массы значений в сторону меньших или отрицательных величин. При этом большинство рассматриваемых временных рядов обладают существенной положительной (сдвиг основной массы значений в сторону наибольших положительных величин) асимметрией.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Наибольшее поступление аммонийного, нитритного и нитратного азота наблюдается с межгородских частей водосбора р. Великой. Причем наибольшее поступление наблюдается с части водосбора р. Великой между городами Остров и Псков, хорошо освоенной в сельскохозяйственном отношении. Это говорит о том, что, скорее всего, основными источниками поступления рассматриваемых соединений азота в воды реки Великой являются стоки с сельскохозяйственных угодий и коммунально-бытовые стоки небольших населенных пунктов без систем канализации.

2. По средним многолетним данным, наибольший вынос фосфора минерального наблюдается с территории города Псков.

3. Наименьший вынос практически всех рассматриваемых биогенов характерен для города Опочка. Наибольший – для города Псков.

4. Анализ основных числовых характеристик показал, что ряды среднегодовых значений объемов стока между створами наблюдений обладают большой изменчивостью и в некоторых случаях высокой степенью асимметрии.

Благодарности. Хотим выразить благодарность научному руководителю доктору географических наук, профессору Владиславу Аркадиевичу Шелутко за помощь в подготовке статьи.

Список литературы:

- [1] Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце 20 столетия / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцев. – М.: Наука, 2003. – 367 с.
- [2] Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев А.Т., Охрана окружающей среды / Уч. пос. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 424 с.
- [3] Смирнов М.П. и др. Речной сток органических веществ с территории СССР и его изменение во времени (1936–1980 гг.) // Гидрохимические материалы. – 1988, т. 103. – С. 67–83.
- [4] Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 238 с.
- [5] Шелутко В.А., Смыжова Е.С. Динамика стока биогенных веществ по реке Великая в Псковско-Чудское озеро // Ученые записки РГГМУ. – 2010, №13. – С. 89–104.
- [6] Шелутко В.А., Урусова Е.С. Теоретические основы и методика оценки экстремального уровня загрязнения речных вод // Сборник трудов VI Международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ – 2012». – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – С. 113–118.