

УДК 577.472+574.5+577.4+581.524

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИГODOVOЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО СТОКА МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА И ФОСФОРА С ВОДОСБОРА ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Селезнев Д.Е.

ФГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия (195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, дом 98), e-mail: kafedra-pe@rshu.ru

В статье рассмотрены особенности естественной внутригодовой динамики стока минеральных форм азота и фосфора в малых и средних рек российской части бассейна Финского залива. При отборе данных для дальнейшего анализа учитывались продолжительность периода мониторинга и интенсивность антропогенного воздействия. Из 115 створов мониторинга отобрано 25 створов. Анализ частных водосборов выше створов мониторинга выполнен с учетом их ландшафтных характеристик и уровня хозяйственного использования. По сходству характеристик водосборы разделены на четыре группы, отдельно выделен водосбор реки Мшаги, имеющий параметры, отличающиеся от характеристик остальных водосборов. Анализ межгодовой изменчивости среднегодовых концентраций минеральных форм азота и фосфора выявил отсутствие выраженного тренда. Подтверждена близость концентраций азота и фосфора в минеральных формах в 25 исследованных реках к природным концентрациям. Проведен статистический анализ внутригодовой изменчивости концентраций минеральных форм азота и фосфора, выявивший объективность как существования внутригодовой динамики, так и различий между динамиками в разных группах рек. Построены и проанализированы графики естественной внутригодовой динамики концентраций и стока минеральных форм азота и фосфора.

Ключевые слова: внутригодовая динамика концентраций и стока минеральных форм азота и фосфора в реках.

FEATURES OF SEASONAL DYNAMICS OF NATURAL RUNOFF OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN MINERAL FORMS FROM THE FINNISH GULF WATERSHED

Seleznev D.E.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia (195196, St. Petersburg, Malookhtinsky Avenue, 98), e-mail: kafedra-pe@rshu.ru

The peculiarities of natural seasonal dynamics of mineral forms of nutrients in a number of small and medium rivers of the Russian part of the Finnish Gulf watershed are considered. At selection of the monitoring points, we took into account both duration of the monitoring and intensity of anthropogenic impact upon a river watershed. Thus, we selected 25 sections from the monitoring ones. Analysis of particular watersheds upper the monitoring sections on the rivers was performed taking into account specificity of the landscapes and degrees of the watersheds economical usage. The watersheds were divided into 4 groups and the Mshaga River according to their characteristics. Analysis of inter-annual variability of mid-annual concentrations of the nutrients shows no presence of any trend. The nitrogen and phosphorus concentrations in the rivers are close to the natural background ones. Analysis of the seasonal variability of the nutrients concentrations revealed objective existence both of the seasonal dynamics and of differences between the dynamics in the different groups of the rivers. Diagrams of generalized seasonal dynamics of the nutrients have been plotted and analyzed.

Keywords: nutrient runoff, mineral forms of nitrogen and phosphorus.

Проблема антропогенного эвтрофирования является одной из важнейших проблем Балтийского моря и водоёмов его бассейна. Решениями Хельсинской комиссии определено, что эвтрофирование является главной проблемой Балтийского моря. При этом необходимо учитывать вклад природных (фоновых) источников как в суммарное годовое поступление биогенных элементов в экосистемы водных объектов, так и внутригодовую динамику их вклада в общее поступление биогенов. Данная работа посвящена определению специфики естественной внутригодовой изменчивости концентраций и объёмов стока минеральных

форм азота и фосфора. Очевидно, что разработка экологически обоснованных норм антропогенного воздействия является насущной проблемой современности. Также понятно, что каждая природная водная экосистема проточного водоёма или прибрежной морской акватории приспособилась за длительный период своего существования к вполне определённой внутригодовой изменчивости поступления биогенных элементов с бассейна водосбора. Антропогенное поступление биогенных элементов, которое также имеет свою собственную внутригодовую изменчивость, накладывается на динамику природного поступления, определяемую ландшафтным строением водосбора и внутригодовыми циклами функционирования экосистем водосбора. Поэтому при определении норм антропогенного воздействия на водные экосистемы необходимо учитывать природную внутригодовую динамику содержания биогенных элементов, в значительной мере определяемую естественной внутригодовой изменчивостью поступления биогенных элементов с водосборного бассейна. Поэтому изучение естественной внутригодовой изменчивости содержания биогенных элементов в речном стоке является весьма актуальным.

Материалы исследований

Для анализа были использованы данные Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 50-е – 80-е годы 20-го века. Были проанализированы 115 створов мониторинга на реках российской части бассейна Финского залива. Для исследования были отобраны 25 рек.

Были проанализированы ландшафтные характеристики водосборных бассейнов исследованных рек и их принадлежность к грациям хозяйственной освоенности территорий. Источниками данных служили карты монографии А.Г. Исаченко «Экологическая география Северо-Запада» [2]. В среде ГИС выполнялась географическая привязка отсканированных изображений карт и их векторизация для дальнейшего анализа.

На основании результатов анализа их географических характеристик водосборные бассейны были объединены в четыре группы: **I группу** – 5 водосборов рек Кумсы, Немины, Пяльмы, Тохма-Йоки, Уницы; **II группу** – 3 водосбора рек Асилан-Йоки, Волчьей, Селезневки; **III группу** – 11 водосборов рек Березайки, Важины, Вали, Видлицы, Воложбы, Голоховки, Лососинки, Пчевжи, Святерки, Тигоды, Туксы; **IV группу** – 5 водосборов рек Куньи, Северки, Синей, Сороти, Шарьи. Отдельно выделен водосбор реки **Мшаги**, отличающийся неоднородностью пространственных характеристик.

Была оценена степень однородности концентраций минеральных форм биогенных элементов в водах исследуемых рек. Для оценки однородности среднегодовых концентраций минеральных форм азота и фосфора в речном стоке в продолжение всего рассматриваемого периода мониторинга нами был использован метод интегральных кривых. Также был

выполнен анализ взаимосвязи концентраций азота и фосфора в речном стоке с динамикой поступления минеральных удобрений в сельское хозяйство РСФСР.

На основании результатов этих исследований был сделан вывод об отсутствии выраженного тренда изменения среднегодовых концентраций минеральных форм азота и фосфора. Этот вывод позволил использовать данные мониторинга в качестве единого массива для определения естественной внутригодовой динамики содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке. Для определения степени близости концентраций минеральных форм азота и фосфора к природным фоновым значениям нами были использованы методики, предложенные проф. Г.Т. Фруминым [6], Цобристом и Дейвисом, проф. В.В. Бульоном [6]. В качестве фоновых значений нами были приняты следующие значения, приведённые в публикациях Е.А. Примака и С.А. Кондратьева [3, 4]: $N-NO_3^-$ – 0.4 мг/л; $N-NO_2^-$ – 0.01 мг/л; $N-NH_4^+$ – 0.6 мг/л; PO_4^- – 0.04 мг/л.

Для проверки предположения о преобладании естественной составляющей в стоке минеральных форм азота и фосфора нами была выполнена проверка гипотезы о принадлежности концентраций биогенов в 25 исследованных реках и в реках Великой и Луге к одной генеральной совокупности, т.е. отсутствию значимых различий между ними. Известно, что в стоке биогенных элементов рек Великой и Луги преобладает антропогенная составляющая [1, 7, 8, 9].

В монографии Н.И. Хрисанова и Г.К. Осипова [10] приводится зависимость величины стока фосфора от степени лесистости территории водосбора. На её основании нами был оценен естественный сток общего фосфора с водосборных бассейнов исследуемых рек. Лесистость водосборов определялась двумя способами: по картам лесистости географических мезорегионов и по картам лесистости по данным леспромхозов [2]. Полученные модули стока были сравнены с фоновыми модулями стока, приведенными в работах Г.Т. Фрумина и Е.В. Степановой [6]. Применение всех вышеупомянутых методов показало, что концентрации минеральных форм биогенных элементов во всех исследуемых реках находятся в пределах значений природного фона.

Для определения характерных особенностей внутригодовой динамики содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке нами было выполнено выделение внутригодовых гидрологических фаз по данным мониторинга уровней и/или расходов исследуемых рек с 1960 по 1989 год. Выделение гидрологических фаз (периодов) производилось с помощью специального программного обеспечения, разработанного В.Ю. Третьяковым в среде создания приложений Delphi 6.0. Затем данные мониторинга относились к конкретным гидрологическим фазам. Эта процедура выполнялась либо с

помощью СУБД Microsoft Access, либо в среде ArcView с помощью специально разработанных приложений.

Была выполнена проверка однородности содержания минеральных форм азота и фосфора в группах рек по гидрологическим периодам. Для анализа применялись параметрические критерии однородности Стьюдента и Фишера и непараметрические ранговые критерии Уилкоксона – Манна – Уитни и Зигеля – Тьюки. Было установлено отсутствие статистически значимых различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в одинаковые периоды внутри годового гидрологического цикла для рек каждой группы. Поэтому нами был сделан вывод о возможности объединения данных внутри групп рек для построения обобщённых внутри годовых динамик минеральных форм азота и фосфора.

Была выполнена проверка значимости различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в различные гидрологические периоды отдельно для каждой из групп рек. Поскольку распределения концентраций не всегда соответствовали нормальному закону, то в качестве критериев однородности применялись как параметрические критерии Стьюдента и Фишера, так и непараметрические ранговые критерии Уилкоксона – Манна – Уитни и Зигеля – Тьюки. Выяснилось, что существуют статистически значимые различия между содержанием минеральных форм азота и фосфора в разные гидрологические периоды для всех четырёх групп рек и реки Мшаги. Следовательно, внутри годовая изменчивость концентраций минеральных форм азота и фосфора объективно существует и определяется внутри годовыми циклами функционирования экосистем водосборов.

Для определения существенности различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в реках, относящимся к разным группам, нами были выполнены сравнения групп значений, относящихся к одинаковым гидрологическим периодам разных групп рек. Для анализа применялись параметрические критерии однородности Стьюдента и Фишера и непараметрические ранговые критерии Уилкоксона – Манна – Уитни и Зигеля – Тьюки. Было установлено существование статистически значимых различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в разных группах рек в одинаковые периоды внутри годового гидрологического цикла. Поэтому был сделан вывод о необходимости отдельного построения обобщённых внутри годовых динамик содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке для каждой из четырёх групп рек и реки Мшаги.

Для выявления особенностей внутри годовых динамик концентраций минеральных форм азота и фосфора в каждой группе рек были определены средние продолжительности внутри годовых гидрологических фаз, средние сроки их начала и окончания, и средние

концентрации минеральных форм азота и фосфора для каждой фазы. Рассчитанные средние концентрации относились к серединам соответствующих гидрологических фаз, имеющим осреднённые даты начала и окончания. Средние концентрации для остальных суток года определялись интерполяцией. Обработка данных выполнялась с помощью ряда специально разработанных рабочих областей (программ) приложения Mathcad. Обобщенные внутригодовые динамики концентраций минеральных форм азота и фосфора определялись отдельно для каждой группы рек. Для определения доверительных интервалов обобщённых внутригодовых динамик содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке рассчитывались значения средних концентраций плюс-минус средние квадратичные отклонения (СКО) для каждой гидрологической фазы внутригодового цикла речного стока. Границы доверительных интервалов для остальных суток года также определялись интерполяцией. Разумеется, рассчитанные внутригодовые динамики концентраций с доверительными интервалами представляют изменчивость среднесуточных значений: динамика внутри суток не рассматривалась.

Для построения внутригодовых динамик объёмов стока минеральных форм азота и фосфора использовались значения, рассчитанные для построения внутригодовых динамик концентраций биогенов и расходов рек. Средняя концентрация для группы рек, приходящаяся на определённую дату внутригодового цикла, умножалась на средний для этой даты расход группы рек. Средний годовой расход группы рек рассчитывался как средневзвешенное значение среднегодовых расходов всех рек, входящих в данную группу. Так были определены обобщённые внутригодовые динамики объёма стока минеральных форм азота и фосфора для четырёх групп рек и реки Мшаги.

Выше был приведён вывод о существовании статистически значимых различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в разных группах рек в одинаковые периоды внутригодового гидрологического цикла. Поэтому обобщённые внутригодовые динамики концентраций и объёмов стока биогенов для разных групп рек существенно различаются. Высокие величины стока минерального фосфора в центральной группе рек связаны с большими значениями средневзвешенного расхода воды.

Анализ графиков внутригодовой изменчивости и принадлежности минимальных и максимальных концентраций к определённым гидрологическим периодам показал, что в подавляющем большинстве случаев максимальные значения концентраций и объёмов стока азота и фосфора в минеральной форме относятся к периодам половодья или паводка, а минимальные – к периодам летней межени или падения уровня в начале календарного года.

Заключение

Данные мониторинга содержания минеральных форм азота и фосфора и динамики уровней воды были получены Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 1950 по 1989 год на 115 речных створах, из которых только 25 рек оказались пригодными для дальнейшего анализа. Именно в этих реках содержание биогенов определялось природными процессами. Выбранные для дальнейшего анализа реки были подразделены на четыре группы, а также реку Мшагу, характеристики водосборного бассейна которой существенно отличаются от параметров водосборов других рек.

По внутригодовым динамикам уровня и/или расхода воды для каждого поста мониторинга были выделены фазы внутригодового гидрологического цикла и выполнено отнесение данных мониторинга содержания в воде минеральных форм азота и фосфора к определённым внутригодовым гидрологическим фазам (зимней межени, подъёму уровня при половодье и т.д.). Данные мониторинга были объединены по группам рек и гидрологическим фазам. Статистический анализ однородности выявил существенные различия как между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в пробах, взятых в разные гидрологические фазы в одних и тех же группах рек, так и в пробах, взятых в одинаковые гидрологические фазы различных групп рек.

Поэтому обобщённые внутригодовые динамики содержания минеральных форм азота и фосфора в стоке рек разных групп были построены отдельно друг от друга. Эти динамики могут использоваться в качестве внешних экологических факторов при компьютерном имитационном моделировании внутригодовых циклов функционирования водных экосистем, необходимом для определения экологически обоснованных норм антропогенного воздействия на экосистемы проточных водоёмов северо-запада России и отдельных прибрежных акваторий Финского залива.

В большинстве случаев максимумы концентраций минеральных форм азота и фосфора и объемов стока для всех четырех групп рек и реки Мшаги приходятся на периоды максимальных уровней воды, а минимумы – на периоды минимальных уровней.

Список литературы

1. Алексеев Д.К., Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Экологический мониторинг: современное состояние, подходы и методы: учебное пособие. Ч. 1. – СПб., 2011
2. Исаченко А.Г. Экологическая география Северо-Запада. – СПб., 1995. – Ч.2.
3. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: 2007.

4. Примак Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов // Диссертация на соискание степени кандидата географических наук. – СПб., 2009.
5. Сергеев Ю.Н., под ред. Экосистема озера Ильмень и его поймы. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 276 с.
6. Фрумин Г.Т., Степанова Е.В. Фоновые концентрации биогенных элементов в реках бассейна Балтийского моря // Материалы V международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы городов и промышленных зон», 7–9 июня 2009 года. – СПб., 2009.
7. Шелутко В.А., Колесникова Е.В. Анализ влияния учета водности рек на точность расчета средних годовых концентраций загрязняющих веществ // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология. География. – 2008. – № 3.
8. Шелутко В.А., Смыжова Е.С. Динамика стока биогенных веществ по реке Великая в Псковско-Чудское озеро // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2010. – № 14.
9. Шелутко В.А. и др. Экология и гидрометеорология городов и промышленных зон / под ред. Карлина Л.Н., Шелутко В.А. и др. – СПб., 2009.
10. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. – СПб., 1993.

Рецензенты:

Мовчан В.Н., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и природопользования факультета географии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного общеобразовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

Степанов В.В., д.т.н., доцент, заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.