

3. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Акварос, 2003. 370 с.

4. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В. Снижение негативного воздействия сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий на водные объекты // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VI Международной научно-практ. конф. Пермь. 2017. С. 175–181.

УДК 556.114+555

Д.И. Соколов, О.Н. Ерина, М.А. Терешина, В.В. Пуклаков

Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г.Москва

АККУМУЛЯЦИЯ ФОСФОРА В ДОЛИННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ*

По материалам детальных наблюдений 1984, 2012 и 2016 гг. оценена аккумуляция минерального фосфора в Можайском водохранилище в период прохождения основной волны речного половодья. На результаты этой оценки влияют полнота и характер используемых данных: отсутствие расходных постов на притоках водохранилища вносит погрешность до 30-40%, снижение частоты гидрохимического мониторинга с ежедневного до 2 раз в месяц или использование эмпирических зависимостей при отсутствии мониторинга – до 50-60% и более. В половодье в водохранилище аккумулируется подавляющее количество минерального фосфора (до 100% и более от годовой величины аккумуляции) благодаря значительному поступлению (50-60% от годового) и малому стоку (от 1 до 13% годового). За последние 30 лет произошло существенное снижение внешней фосфорной нагрузки на водохранилище.

Ключевые слова: долинное водохранилище, весеннее половодье, речной сток, минеральный фосфор, внешняя фосфорная нагрузка, удержание фосфора.

D.I. Sokolov, O.N. Erina, M.A. Tereshina, V.V. Puklakov

Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

PHOSPHORUS ACCUMULATION IN A VALLEY RESERVOIR DURING THE SPRING FLOOD

On the basis of detailed observations of 1984, 2012 and 2016 the accumulation of reactive phosphorus in the Mozhaisk reservoir during the main wave of spring flood was estimated. The results of this assessment are influenced by the completeness and nature of the data used: the absence of discharge points on the tributaries of the reservoir introduces an error of 30-40%, a decrease in the frequency of hydrochemical monitoring from daily to 2 times a month or the use of empirical dependences in the absence of monitoring – up to 50-60% or more. In the flood the overwhelming amount of reactive phosphorus accumulates in the reservoir (up to 100% or more of the annual accumulation) due to a significant inflow (50-60% of the annual) and low outflow (from 1 to 13% of

the annual). Over the past 30 years, there has been a significant reduction in the external phosphorus load on the reservoir.

Keywords: valley reservoir, spring flood, river flow, reactive phosphorus, external phosphorus load, phosphorus retention.

Введение

Одним из наиболее опасных последствий воздействия человека на окружающую среду признан процесс эвтрофирования водоемов – повышения их биопродуктивности в результате накопления биогенных веществ. По имеющимся оценкам чаще всего лимитирующим фактором продуктивности водоемов является содержание минерального фосфора [1].

Для водохранилищ основным источником поступления фосфора является речной сток, причем внутригодовая изменчивость содержания фосфора в реках очень велика. Основное поступление фосфора в водохранилища происходит в период половодья, когда увеличение водности рек сочетается с ростом концентраций фосфора в речных водах вследствие его интенсивного вымывания из почв, растительного опада и т.д.

Аккумуляция фосфора в период половодья, во многом определяющая функционирование экосистемы водохранилища в течение всего года, зависит, с одной стороны, от гидрометеорологических условий формирования водного и химического стока в период половодья, и, с другой стороны, от режима работы гидроузла. Однако точность оценки этой аккумуляции в условиях систематического сокращения сети гидрологических постов и острой нехватки (вплоть до полного отсутствия) гидрохимических наблюдений существенно зависит от характера исходных данных, доступных исследователю [6].

Материалы и методы исследования

Объектом данного исследования выбрано Можайское водохранилище, расположенное на западе Московской области в верховьях р. Москвы. На двух основных притоках водохранилища – Москве и Лусьянке – действуют посты Росгидромета, сток третьего крупного притока – Колочи – зарегулирован Колочским гидроузлом, что обеспечивает гидрометрический контроль притока с 91% площади водосбора.

В 1984 г. [4] и авторами в 2012 и 2016 гг. [2; 6] на водохранилище и его водосборе выполнены детальные гидрохимические наблюдения, включавшие учащенный отбор проб в период половодья на притоках (в 1984 и 2016 гг. – преимущественно ежедневно, в 2012 г. – в среднем 2 раза в неделю) и в нижнем бьефе гидроузла (2-3 раза в неделю). Пробы обрабатывали в химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы (УНБ) МГУ. Содержание минерального фосфора определяли спектрофотометрически по методу Морфи-Райли согласно методике, изложенной в [5].

Аккумуляцию минерального фосфора рассчитывали как разность между поступлением с водосбора (внешней фосфорной нагрузкой) и стоком в нижний бьеф гидроузла. Внешнюю нагрузку вычисляли как сумму выноса со стоком рр.Москвы, Лусьянки, Колочи и со склоновым стоком (используя Лусьянку как меньший из притоков в качестве реки-аналога для оценки водного и химического

стока с бокового водосбора водохранилища). Массу минерального фосфора, переносимую с тем или иным объемом воды за сутки, рассчитывали как произведение расхода воды на соответствующую концентрацию фосфора. Расчет производили посуточно (в т/сут) с последующим суммированием суточных величин за расчетный период.

Ежесуточные значения расходов воды и концентраций минерального фосфора получали из разных источников и разными способами, чтобы оценить чувствительность расчетной методики к особенностям исходных данных.

Первый, наиболее достоверный источник данных о ежедневных расходах рр. Москвы и Лусьянки за 1984 г. – гидрологический ежегодник. К 2012 г. оба поста уже не являлись расходными, и в ежегодниках опубликованы только данные наблюдений за уровнем воды. Поэтому для 2012 и 2016 гг. основным способом восстановления ежесуточных значений расходов воды Москвы и Лусьянки выбрано использование кривой $Q=f(H)$ образца 1996 г. из архива Красновидавской УНБ с применением понижающих коэффициентов k_Q , учитывающих влияние ледовых явлений и растительности [7], полученных по данным ежегодника за 1984 г. сопоставлением среднесуточных уровней и расходов воды с учетом ледовых явлений и колебаний водности.

Вторым способом получения расходов воды Москвы и Лусьянки для всех трех лет, включая 1984 г., стало применение кривой $Q=f(H)$ и среднегодовых ежесуточных величин k_Q , полученных по данным ежегодников. При получении расходов воды по кривой третьим способом понижающие коэффициенты не использовали. Четвертым способом расходы воды Москвы, Лусьянки и бокового притока рассчитывали с учетом площадей водосборов по ежесуточным данным о суммарном поверхностном притоке в водохранилище, приводимым в справках гидрологического отдела Можайского гидроузла.

Основную волну половодья выделяли как период устойчиво высоких расходов воды обеспеченностью менее 33,3% [3], включающий пик половодья, начиная и заканчивая сутками с расходами воды обеспеченностью более 33,3% (для Москвы и Лусьянки – 3,82 и 0,83 м³/с соответственно).

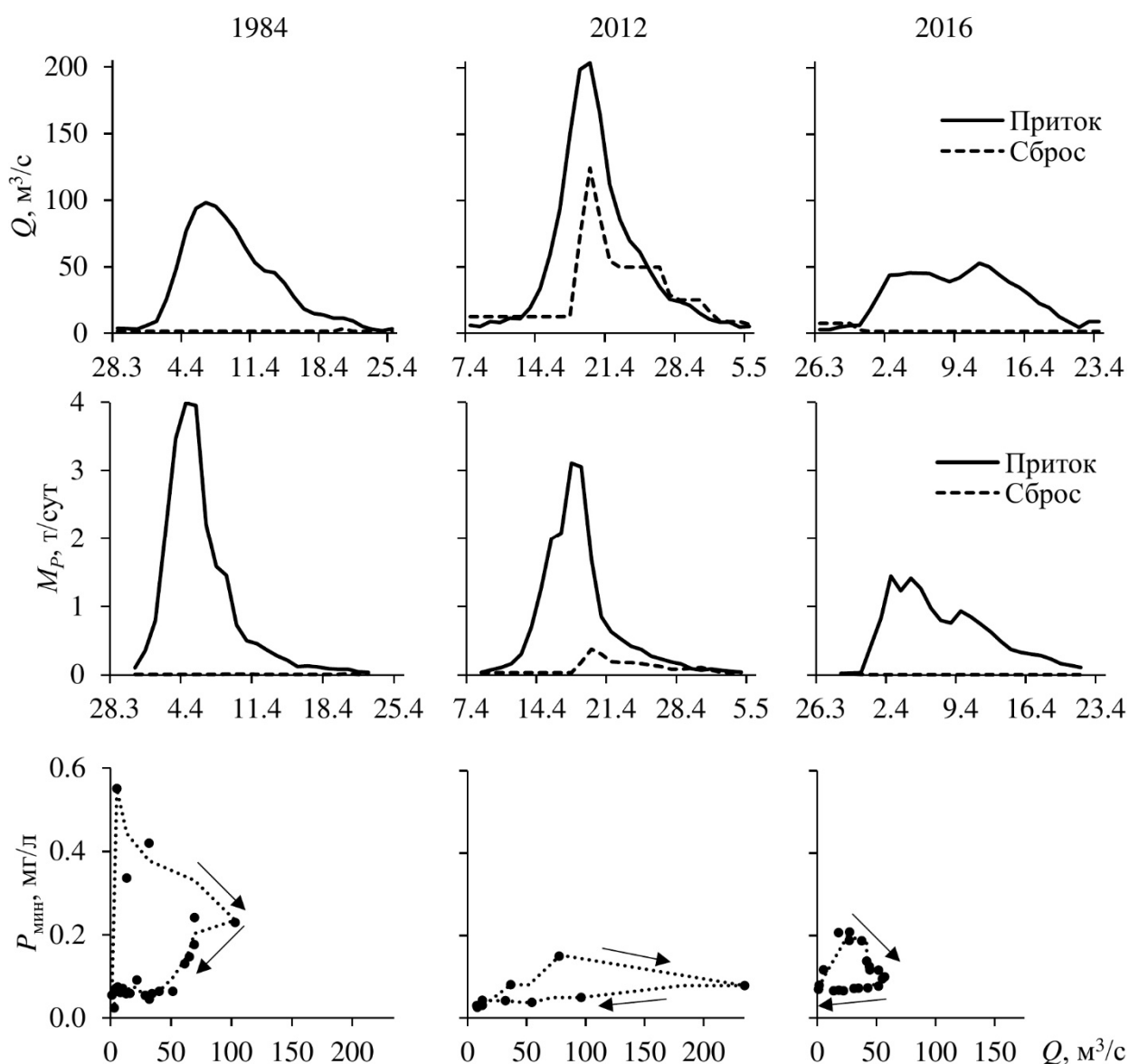
Наиболее достоверным способом задания ежесуточных концентраций фосфора в речной воде при наличии данных столь детальных наблюдений, очевидно, является использование измеренных значений и линейной интерполяции между ними в случаях пропусков (первая серия расчетов). В 1984 и 2016 гг. пропуски единичны, но в 2012 г. достигали 4 дней; для оценки влияния частоты отбора проб на результат оценки фосфорной нагрузки выполнена вторая серия расчетов, имитирующая сокращение частоты пробоотбора до 1 раза в неделю, декаду, 2 недели (с линейной интерполяцией между измеренными концентрациями). Наконец, третья серия расчетов основана на использовании эмпирических связей между концентрацией минерального фосфора и расходом воды, полученных для фаз подъема и спада половодья [6].

Расходы воды сбросов Можайского и перекачки Колоцкого гидроузла во всех сериях расчетов получены по данным справок гидрологического отдела

Можайского гидроузла, а соответствующие ежедневные концентрации фосфора – линейной интерполяцией между измеренными значениями.

Результаты и их обсуждение

Рассматриваемые годы существенно различались как по характеру речного половодья, так и по режиму работы гидроузла (рисунок). Наивысшее половодье, более позднее и дружное, наблюдалось в 2012 г., самое низкое, раннее, растянутое, двумодальное – в 2016 г. В периоды половодья 1984 и 2016 гг. сбросы Можайского гидроузла преимущественно не превышали величины санитарного ппуска ($1,5 \text{ м}^3/\text{с}$), в то время как на подъеме и спаде половодья 2012 г. они составляли не менее $9\text{--}12 \text{ м}^3/\text{с}$, на пике достигая $124 \text{ м}^3/\text{с}$.



Расходы Q суммарного поверхностного притока воды в Можайское водохранилище и сбросов гидроузла (верхний ряд); графики зависимости концентраций минерального фосфора от расходов воды р. Москвы (средний ряд); массы M_P минерального фосфора, поступающие в водохранилище с речным стоком и сбрасываемые в нижний бьеф гидроузла (нижний ряд) в периоды основной волны речного половодья 1984, 2012 и 2016 гг.

Максимальные концентрации минерального фосфора в речных водах зафиксированы весной 1984 г. и достигали 0,55 мг/л в р. Москве (рисунок) и 0,83 мг/л в р. Лусьянке. В 2012 и 2016 г. содержание фосфора было существенно ниже и в р. Москве не превышало соответственно 0,15 и 0,21 мг/л, а в р. Лусьянке – 0,20 и 0,43 мг/л. Такое изменение, вероятно, связано со снижением антропогенной нагрузки на водосбор (распаханности территории, сельскохозяйственного производства, применения минеральных удобрений). В целом максимальные концентрации минерального фосфора в реках наблюдались в начале подъема половодья; с ростом расходов и на спаде половодья их концентрация снижалась. В нижнем бьефе Можайского гидроузла содержание фосфора изменялось плавно и в 1984 г. не превышало 0,11 мг/л, а в 2012 и 2016 гг. – 0,05 мг/л.

В соответствии с колебаниями расходов воды и концентраций фосфора, основная внешняя фосфорная нагрузка на водохранилище (оцененная основным, наиболее достоверным способом) приходилась на фазу подъема речного половодья (рисунок), а сток фосфора из водохранилища был ничтожно мал, даже при максимальных сбросах гидроузла 2012 г. не превышая 0,4 т/сут.

Суммарное поступление минерального фосфора за период половодья составило в 1984, 2012 и 2016 гг. соответственно 23,3; 18,6 и 14,8 тонн (59, 56 и 51% от суммарного годового поступления), суммарный сток фосфора – 0,2; 2,7 и 0,1 тонны (2, 13 и 1% годового стока), аккумуляция фосфора – 99, 85 и 99% от внешней нагрузки (это составляет соответственно 82, 134 и 106% годовых величин аккумуляции фосфора в эти годы – то есть в остальную часть 2012 и 2016 гг. сток фосфора из водохранилища превышал поступление с водосбора).

Что касается остальных опробованных вариаций расчетной методики, при отсутствии данных о расходах речных вод и актуальных значениях коэффициентов k_Q наиболее эффективно их восполнение на основе среднесуточных величин k_Q (при таком способе погрешность оценки возрастала не более чем на 6%; если же вовсе не использовать понижающие коэффициенты – то до 40% и более), а при отсутствии кривой $Q(H)$ – на основе данных о суммарном поверхностном притоке в водохранилище по справкам гидроузла (рост погрешности на 14-27%).

При снижении частоты гидрохимического мониторинга с ежедневного до 1 раза в неделю погрешность оценки притока фосфора за период половодья возрастает на 5-16%, в декаду – на 2-21%, в 2 недели – на 6-47%. Погрешности оценок с использованием связей между концентрацией фосфора и расходом воды по сравнению с основной расчетной методикой составили 13-63%.

Выводы

В половодье в водохранилище аккумулируется подавляющее количество минерального фосфора (до 100% и более от годовой величины аккумуляции) благодаря значительному поступлению (50-60% от годового) и малому стоку (от 1 до 13% годового).

Оценка поступления и аккумуляции фосфора в водохранилище за период половодья существенно зависит от полноты и характера используемых данных. Отсутствие расходных постов на притоках водохранилища вносит погрешность

до 30-40%, снижение частоты гидрохимического мониторинга с ежедневного до 2 раз в месяц или использование эмпирических зависимостей при отсутствии мониторинга – до 50-60% и более.

Существенное снижение за 30 лет содержания минерального фосфора в речных водах и его поступления в водохранилище свидетельствует об изменении условий хозяйственного использования водосбора.

Библиографический список

1. *Даценко Ю.С.* Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.
2. *Ерина О.Н., Ефимова Л.Е., Терешина М.А., Соколов Д.И.* Межгодовая изменчивость притока фосфора в Можайское водохранилище // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2017. Т. 2. С. 72–76.
3. *Магрицкий Д.В.* Речной сток и гидрологические расчеты. Компьютерный практикум. М.: Юрайт, 2019. 184 с.
4. *Моделирование режима фосфора в долинном водохранилище.* М.: Изд-во МГУ, 1995. 80 с.
5. *РД 52.10.738-2010.* Массовая концентрация фосфатов в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом. М., 2010. 29 с.
6. *Соколов Д.И., Ерина О.Н.* Оценка внешней фосфорной нагрузки на водоем при различной обеспеченности данными // Волга и ее жизнь: сб. тезисов докл. Всерос. конф. Борок, 2018. С. 121.
7. *СП 33-101-2003.* Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., 2004. 73 с.

УДК 556.314, 556.047

Ю.В. Хотяновская, С.А. Бузмаков, Г.А. Воронов, Д.Н. Андреев
89082412863@yandex.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь*

ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ КАРСТОВОГО РАЙОНА

Рассмотрены основные характеристики водосбора и водного режима реки Ясыл. В период с 2016 по 2018 гг. выполнен отбор проб воды в разных точках речной сети в три фазы гидрологического режима, проведен их химический анализ. Выявлены временные и пространственные особенности распределения нефтепродуктов по длине водотока. Выдвинуты гипотезы происхождения нефтепродуктов в водном объекте.

Ключевые слова: загрязнение поверхностных вод, нефтепродукты, карстовый район, техногенное воздействие, река Ясыл.