

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГИДРОХИМИИ И МОНИТОРИНГА
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**МАТЕРИАЛЫ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

8-10 сентября 2015 г.

г. Ростов-на-Дону

ЧАСТЬ 2

Ростов-на-Дону

2015

Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 2. Ростов-на-Дону, 8-10 сентября 2015 г. – Ростов-на-Дону, 2015. – 420 с.

Редакционная коллегия:

М.М. Трофимчук, кандидат биологических наук
Т.А. Хоружая, доктор биологических наук
Е.Н. Бакаева, доктор биологических наук
Л.И. Минина, кандидат химических наук
Ю.А. Андреев, кандидат химических наук
Е.Е. Лобченко, кандидат химических наук
О.А. Клименко, кандидат химических наук
А.А. Матвеев, кандидат химических наук
Н.П. Матвеева, кандидат химических наук
Л.С. Косменко, кандидат химических наук
А.А. Назарова, кандидат химических наук
Л.М. Предеина, кандидат химических наук
В.М. Иваник, кандидат географических наук

Сборник материалов опубликован при финансовой поддержке
Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

В сборнике представлены материалы исследований по широкому кругу вопросов фундаментальной и прикладной гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Во вторую часть сборника включены материалы докладов, посвященных современным методам химического анализа воды и донных отложений поверхностных водных объектов, методам биоиндикации и биотестирования, используемым в мониторинге водных объектов, оценке и прогнозированию загрязненности и состояния водных экосистем.

Тематика опубликованных в сборнике материалов представляет интерес для широкого круга специалистов в области гидрохимии, гидробиологии, токсикологии, экологии.

Компьютерная верстка: Е.Л. Селютина

МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ КИСЛОРОДНОГО БАЛАНСА МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Ерина О.Н.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва,
tamiblack@yandex.ru*

Диапазон задач, связанных с изучением кислородного режима водоемов, чрезвычайно широк. Простота определения содержания растворенного в воде кислорода (РК) в совокупности со значимостью этого показателя как интегральной характеристики химико-биологических процессов, протекающих в водных экосистемах, сделали измерение этой характеристики практически обязательным при обследовании водных объектов.

Однако, несмотря на обширный материал натурных наблюдений и экспериментов, посвященных изучению скоростей продуцирования и потребления растворенного кислорода, до сих пор существуют задачи, решение которых этими методами невозможно. К числу таких задач относится рассмотрение кислородного баланса водоема и оценка вклада в него отдельных составляющих. Ввиду слишком сложной цепочки кислородных связей отследить потоки источников и стоков кислорода в настоящий момент возможно при помощи только одного метода – математического моделирования.

В данной работе в качестве инструмента исследования используется квазидвухмерная боксовая модель ГМВ-МГУ [2], разработанная на кафедре гидрологии суши Московского университета. В этой модели водоем представляется в качестве совокупности отсеков, разделенных на горизонтальные боксы, к каждому из которых последовательно применяется одномерный алгоритм расчета гидроэкологической структуры.

В блоке расчета растворенного кислорода в модели учитываются следующие процессы:

- поступление и отток растворенного кислорода в результате процессов водообмена;
- поступление и отток кислорода в результате газообмена поверхностного слоя с атмосферой;
- поступление кислорода с выпадающими на водную поверхность осадками;
- продукция кислорода во время фотосинтеза;
- потребление при дыхании фитопланктона;
- потребление в результате процессов нитрификации;
- потребление при разложении детрита;
- потребление при дыхании зоопланктона;
- потребление при дыхании рыб;
- потребление на окисление стойкого и лабильного органического вещества;
- потребление на окисление восстановленных веществ;
- потребление донными отложениями.

Параметризация процессов потребления кислорода проводилась по классическим уравнениям химической кинетики первого порядка, обмен атмосфе-

рой – в зависимости от скорости ветра, а продукция кислорода в процессе фотосинтеза описывалась через рассчитанную в отдельном блоке биомассу фитопланктона.

Сложная структура модели, с одной стороны, позволяет проводить численные эксперименты, например, для оценки реакции водной экосистемы на внешние воздействия, но, с другой стороны, такая модель требует подробной верификации и тщательной настройки. Особенно это важно при рассмотрении вклада отдельных составляющих в структуру кислородного баланса водоема.

В связи с этим в качестве объекта исследования было выбрано Можайское водохранилище – водоем простого долинного типа и среднего размера, расположенный на западе Московской области в верховьях р. Москвы и являющийся базовым в Москворецкой системе водоснабжения г. Москвы. В модели оно представлено в продольно-вертикальном разрезе в виде 19 отсеков, разделенных на 2 лопасти, соответствующие затопленным долинам рек. Наличие крупного массива данных наблюдений за состоянием этого водоема практически с момента заполнения, а также подробные балансовые исследования, проводившиеся в течение трех полных водохозяйственных циклов в разные периоды существования водохранилища, позволили провести неоднократную подробнейшую оценку качества моделирования как процессов внутреннего водообмена, так и гидроэкологического режима водохранилища. В результате многочисленных верификационных и валидационных расчетов установлено, что модель ГМВ-МГУ адекватно воспроизводит кислородный режим водоема в течение всего года. Среднеквадратическая ошибка расчета не превысила $\pm 1,57$ мг/л (при длине ряда $n=1870$), а валидационные расчеты, проведенные для четырех водохранилищ Москворецкой водной системы для лет, различающихся по водности и синоптическим условиям, показали, что среднеквадратическая ошибка расчета не превысит ± 2 мг/л. Исходя из этого, а также из адекватного воспроизведения режима других химических и биологических показателей [1], принято решение о возможности использования модели водохранилища для проведения различных диагностических и прогнозных расчетов.

Для изучения кислородного баланса Можайского водохранилища в летний период был выбран 2012 год, максимально обеспеченный данными наблюдений и с наименьшей ошибкой расчета. Потоки кислорода рассматривались за период с 1 июня по 31 августа. Для удобства анализа расчетные отсеки были объединены в три района: верховой, центральный и приплотинный. Помимо расчета составляющих баланса для водохранилища в целом были оценены потоки через границы этих районов, что позволило оценить вклад внутриводоемных течений в перераспределение кислорода между районами.

В начале среднего по метеорологическим условиям летнего периода 2012 года запас растворенного кислорода в Можайском водохранилище составлял 1798 тонн. Поступление кислорода в водоем за лето составило 16113 тонн, а суммарное потребление и отток – 16439; таким образом, к началу осени запас кислорода уменьшился на 326 тонн и составил 1472 тонны. В структуре приходной части баланса 96% приходится на фотосинтез фитопланктона, 3 % на

поступление с речными водами и лишь 1% на боковой приток, поступление кислорода с осадками и поступление из атмосферы.

Структура потребления кислорода в водоеме в летний период намного сложнее (рисунок 1).

а)



б)



Рисунок 1 – Приходные (а) и расходные (б) составляющие кислородного баланса Можайского водохранилища в летний период 2012 года

Здесь фигурируют 12 расходных составляющих: 34 от суммарного потребления приходится на дыхание фитопланктона, 29 % поступает в атмосферу из поверхностного слоя, 23 % тратится на окисление растворенного стойкого и лабильного ОВ, 4% на дыхание рыб, 2,7 % на разложение детрита, по 2 % на процессы нитрификации и поглощения донными отложениями, 1,9 % потребляемо-

го кислорода используется на дыхание рыб, 1 % сбрасывается в нижний бьеф, менее 1 % тратится на береговое регулирование и окисление соединений железа и марганца.

Особый интерес представляет рассмотрение кислородного баланса по районам водохранилища. Здесь большой вклад в обогащение водной толщи кислородом, особенно в условиях её стратифицированности, играют внутриводоемные течения, которые обеспечивают 39 % суммарного притока кислорода в верховой район водохранилища, 64 % притока в центральный и 47 % – в нижний. При этом в верховьях наибольший вклад вносят компенсационные течения (27 % от суммарного притока), а в центральном и нижнем районе – дрейфовые (до 35 % в приплотинной части).

Неодинаков и вклад фитопланктона в обогащение разных районов водохранилища растворенным кислородом. В верхней части водохранилища фотосинтез составляет 55 % от приходной части баланса, в центральной части его вклад уменьшается до 35 %, а в нижнем районе возрастает до 46 %. Подобные различия обусловлены чрезвычайной пространственной неоднородностью протекания продукционных процессов: в верховьях водохранилища происходит максимальная подпитка биогенными элементами, поступающими с речным стоком, а небольшая глубина создает благоприятные условия для развития клеток водорослей.

В расходной части баланса вклад внутриводоемной динамики также очень велик и составляет в среднем 50 % от суммарного расхода кислорода (от 47 % в верховьях и нижней части до 65 % в центральной). Здесь тоже преобладают дрейфовые течения, с которыми в соседние районы выносятся до 37% (в центральном районе) от общей потери кислорода; велик и вклад компенсационных течений (до 24 %).

Из химико-биологических процессов в расходование кислорода максимален вклад затрат на дыхание фитопланктона, изменяясь пропорционально величине поступления РК при фотосинтезе. В атмосферу уходит 27 % кислорода, спродуцированного в верховьях водохранилища, 32 % – в центральном и 31 % в нижнем районах.

Таким образом, с использованием метода математического моделирования оценена структура кислородного баланса как водохранилища в целом, так и вклад гидрофизических и химико-биологических процессов в поступление и расходование растворенного кислорода в разных районах водохранилища.

В качестве доказательства достоверности полученных выкладок служит высокий коэффициент корреляции между величинами запаса кислорода в водохранилище, полученными по результатам моделирования и рассчитанными по данным гидролого-гидрохимических съемок.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №13-05-00137а и №15-05-06108а.

Таблица 1 – Составляющие кислородного баланса в разных районах Можайского водохранилища в летний период 2012 года

а) Приток растворенного кислорода

	Речной сток	Боковой приток	Стоковое течение	Плотностные течения	Компенсационные течения	Дрейфовые течения	Осадки	Фотосинтез	Поступление из атмосферы
Верховой район									
тонн	374	28	0	10	1959	902	22	4073	0
%	5	0,4	0	0,1	27	12,2	0,3	55	0
Центральный район									
тонн	0	17	378	1945	3553	3925	23	5388	0
%	0	0,1	2,5	13	23,2	26	0,2	35	0
Нижний район									
тонн	63	8	400	418	1555	4684	30	6084	0
%	0,5	0,1	3	3,2	12	35	0,2	46	0

б) Расходование растворенного кислорода

	Обмен с дном	Стоковое течение	Плотностные течения	Компенсационные течения	Дрейфовые течения	Сбросы гидроузла	Уход в атмосферу	Дыхание фитопланктона	Затраты на нитрификацию	Окисление детрита	Дыхание зоопланктона	Окисление лабильного ОВ	Окисление стойкого ОВ	Окисление восстановленных веществ	Потребление грунтами дна	Дыхание рыб
Верховой район																
тонн	12	378	869	313	1879	0	1110	1485	44	170	96	295	415	1	243	72
%	0,2	5	12	4,2	25	0	15	20	1	2,3	1,3	4	6	0	3	1
Центральный район																
тонн	13	400	428	3514	5585	0	1715	1883	109	133	234	493	641	6	47	96
%	0,1	2,6	3	23	37	0	11	12	0,7	0,9	2	3	4	0	0,3	0,6
Нижний район																
тонн	17	0	1076	3240	2046	209	1902	2249	219	144	395	798	1026	11	34	126
%	0,1	0	8	24	15	1,6	14	17	1,6	1	3	5,9	7,6	0,1	0,2	0,9

Список литературы

1. Даденко Ю.С., Ерина О.Н., Пуклаков В.В. Моделирование режима растворенного кислорода в стратифицированном водохранилище // Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз: материалы всероссийской научной конференции. Новочеркасск: изд-во «ЛИК», 2013. С.309–314.
2. Пуклаков В.В. Гидрологическая модель водохранилища: руководство для пользователей. М.: ГЕОС, 1999. 96 с.