

Оценка гидро-экологических характеристик Цимлянского водохранилища

Д.В. Гавриловский, В.Л. Гапонов, С.В. Гапонов, Е.Ю. Гапонова

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассматриваются основные проблемы эксплуатации водохранилищ, их влияния на окружающую экосистему. Проанализированы преимущества и недостатки строительства гидротехнических сооружений. В частности, на примере Цимлянского водохранилища, выделены основные виды негативного воздействия на окружающую среду. Сделан вывод о необходимости проведения оценки экологических рисков, связанных с эксплуатацией существующих гидротехнических сооружений современными методами и средствами измерения. Предложены формулы для получения параметров гидрофизических и гидрохимических процессов, таких как: гидравлическая характеристика потока и температурный режим водохранилища. Выявлена необходимость построения актуальной математической модели для проведения ряда вычислительных экспериментов. Использование полученных данных позволит проводить прогнозирование процессов эвтрофирования в Цимлянском водохранилище.

Ключевые слова: водохранилище, гидротехнические сооружения, экология, гидрологические процессы, тепловое загрязнение, эвтрофирование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент, антропогенная деятельность, питьевое водоснабжение, Цимлянское водохранилище.

Россия обладает одним из самых высоких потенциалов в мире по стратегически важному природному ресурсу как водный потенциал. Однако, нерациональное использование питьевой воды, в частности, использование ее на технологические нужды промышленных предприятий, а также истощение ресурсов подземных и поверхностных вод, связанное с результатами антропогенной деятельности, обуславливает возрастающий дефицит качественной питьевой воды [1].

Одним из способов накопления пресной воды является строительство водохранилища. Его строительство также позволяет решить большинство задач в областях энергообеспечения, сельского хозяйства, транспорта и рекреации. Однако строительство водохранилищ оказывает значительное негативное влияние на окружающую среду

Одно из крупнейших водохранилищ в России расположено на реке Дон. Цимлянское водохранилище – одно из крупнейших водохранилищ на

Юге России. Оно создано перекрытием плотиной реки Дон в нижнем течении у г. Цимлянска в 1952-1953 гг. Полный объем водохранилища – 23,9 км³, полезный 11,5 км³, площадь зеркала 2702 км² [2]. Строительство Цимлянского водохранилища позволило решить следующие задачи:

Создание судоходного канала по Волго-Донскому пути. В период летней межени оно должно обеспечивать повышение судоходных глубин вплоть до г. Ростова-на-Дону путем попусков воды через ГЭС;

- 1) Создание условий для самотечного орошения засушливых земель;
- 2) Получение на ГЭС электроэнергии;
- 3) Обеспечение водоснабжения городов Цимлянск и Волгодонск;
- 4) Наполнение пруда-охладителя Ростовской АЭС.

Но в то же время речная экосистема, существовавшая до начала строительства плотины и являющаяся результатом многолетнего развития была нарушена. Возведение плотины поделило существовавшую экосистему на две – экосистему самого водохранилища и нижнего бьефа. И возникшие негативные последствия можно проследить вплоть до устья реки Дон [3, 4]. При существовавшем во времена строительства уровне оценки последствий, экологические риски гидростроительства могли быть не учтенными. Для возможности предотвращения или минимизации последствий необходима оценка гидрологических процессов реки Дон.

Существуют четыре основных вида воздействий, оказываемых водохранилищем: физическое, химическое, биологическое и социально-экономическое.

К физическому воздействию относятся изменения гидротермического режима реки и стока, затопление и подтопление территорий, влияние на атмосферу и т.д.

К химическому воздействию относятся удержание химического стока реки плотиной, в результате которого водохранилище превращается в

накопитель химических веществ, в том числе тяжелых металлов; на участке нижнего бьефа реки наоборот наблюдается снижение содержания химических элементов.

Под биологическим воздействием подразумевается задержка биостока реки, возникновение условий для гиперцветения сине-зеленых водорослей, ограничение возможностей миграции рыбы, изменение гидробиологического режима реки у нижнего бьефа, ухудшение условий естественного самоочищения и т.д. Гидробиологические прогнозы невозможны без оценки гидрофизических и гидрохимических процессов.

К социально-экономическому воздействию гидростроительства относятся области энергетики, рыбного хозяйства, водопотребления и рекреации.

Получение достоверных прогнозов последствий физического и химического воздействий плотины на состояние водного объекта весьма трудоемко [5]. В настоящее время с достаточной точностью можно прогнозировать следующие гидрологические процессы: изменения температурного режима водного объекта, соленость воды, содержание взвешенных в воде веществ и растворенных газов. По этим гидрологическим процессам возможна оценка влияния гидростроительства на водную экосистему реки [6].

Существенной также является проблема токсификации Цимлянского водохранилища вследствие массового роста токсичных видов сине-зеленых водорослей. Помимо химического загрязнения опасными соединениями, значительно влияние на качество воды. Это еще раз указывает на необходимость одновременного контроля состояния водной экосистемы и сопоставления динамики химических и биологических показателей для создания динамической модели развития.

Следует отметить важность анализа состояния донных отложений водохранилища и организмов, обитающих на дне. В придонных слоях воды зимуют сине-зеленые водоросли, которые все больше и больше накапливаются в водной экосистеме, наращивая биомассу ежегодно. В то же время на дне накапливаются токсические вещества, которые создают потенциальную опасность для водных организмов, для рыбозаведения в частности, а также приводят к ухудшению качества питьевой воды.

Регулярные наблюдения за состоянием фитопланктона (как и за состоянием других трофических звеньев водной экосистемы) в настоящее время не входят в программы работ Росгидромета (они проводились только в период с 1984 до 1991 гг. и были прекращены по причине отсутствия финансирования) [7]. Гидробиологические работы Управления водными ресурсами Цимлянского водохранилища (УВРЦВ) недостаточны для оценки и контроля состояния Цимлянского водохранилища, так как проводятся всего 4 раза в год.

С использованием методов математического моделирования возможно проведение ряда вычислительных экспериментов для Цимлянского водохранилища. Необходимость проведения расчетов очевидна, так как в процессе эксплуатации водохранилища теплая, сильно загрязненная биостоком и биогенами вода начнет попадать в сток реки Дон.

Во время построения математической модели необходимо сделать допущения, связанные с особенностями протекания исследуемых явлений и принципом их разделения по физическим процессам.

Первое допущение заключается в том, что гидравлические характеристики потока реки влияют на температурный режим и биохимические процессы; термодинамические характеристики определяют колебание параметров эвтрофирования.

Второе допущение заключается в том, что взаимное влияние процессов в обратной последовательности настолько незначительно, что ими допустимо пренебречь. Это позволяет использовать при математическом моделировании следующую расчетную схему:

- а) определение гидравлических параметров руслового потока;
- б) расчет изменения температуры воды в реке вдоль по потоку;
- в) расчет изменения концентраций компонентов водной экосистемы.

Для исследования гидравлических характеристик потока целесообразно использование математической модели основанной на уравнениях Сен-Венана:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0,$$
$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\omega} \right) = g \omega \left(\frac{\partial z}{\partial x} \left| \frac{Q|Q|}{\omega^2 C^2 R} \right. \right), \quad (1)$$

где x, t – пространственная вдоль потока и временная координаты, z – координата свободной поверхности, g – ускорение свободного падения,

Q – расход воды, ω – площадь поперечного сечения, R – гидравлический радиус: $R = \omega / X$, здесь $\omega = \int_0^h b(x, \xi) d\xi$,

$X = b(x, 0) + 2 \int_0^h \sqrt{1 + 0.5 \left(\frac{\partial b}{\partial \xi} \right)^2} d\xi$, где X – смоченный периметр, $b(x, \xi)$ –

ширина реки на расстояние ξ от дна, h – глубина реки, C – коэффициент Шези, вычисляемый по формуле Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \text{ где } n \text{ – шероховатость русла.}$$

В общем случае шероховатость русла меняется в зависимости от ширины потока и времени года в периоды открытого русла.

Для моделирования температурного режима водохранилища используется уравнение переноса для температуры:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{S_n + S_{дн} + \hat{S}_v B}{c\rho} + \frac{q}{\omega} (T_q - T), \quad (2)$$

где x – пространственная координата, направленная вдоль потока, t – время, T – температура воды, T_q – температура путевого притока, c – удельная теплоемкость, ρ – плотность воды, S_n – суммарный тепловой поток через свободную водную поверхность, u – средняя по сечению скорость течения,

$\hat{S}_v = S_v \omega / B$, S_v – объемные источники теплоты, к которым относится поток, обусловленный переходом части механической энергии в тепловую, $S_{дн}$ – приток теплоты от русла.

Для уравнения (2) необходимо задать начальное и граничное условия:

$$T|_{t=t_0} = T^0(x) \text{ при } x_0 \leq x \leq x_L,$$

$$T|_{x=x_0} = \psi(t).$$

Суммарный тепловой поток – один из основных факторов влияющий на изменение термического режима. Его (S_n) составными частями являются:

S_r – тепловой поток, обусловленный поглощением солнечной радиации;

S_a – поглощение длинноволнового излучения атмосферы;

S_ω – встречное излучение водной поверхности;

S_p – теплообмен с атмосферой за счет конвенции;

S_{is} – теплообмен за счет испарения и конденсации.

С учетом направления передачи теплоты получаем уравнение:

$$S_n = S_r + S_a - S_\omega + S_p + S_{is}.$$

Для определения количества поглощённой солнечной радиации используется следующая формула:

$$S_r = 0.94 S_R (1 - 0.65 N^2),$$

где N – общая облачность, S_R – солнечная радиация при ясном небе, рассчитываемая по формуле

$$S_R = (0.66 + 0.34 \frac{\gamma - 0.9 + 0.4 \sin h_c}{0.1 + 0.4 \sin h_c}) \frac{k \sin^2 h_c}{p^2 (\sin h_c + 0.107)}$$

k – функция от ψ_a , $\psi_a = (1.55 + 0.046e) e^{1.075}$ – влагосодержание атмосферы. γ – склонение солнца, вычисляется по формуле:

$$\gamma = 23.5 \sin\left(\frac{2\pi}{365}(t - d)\right),$$

где t – номер дня, для которого проводится расчет, отсчитывается от некоторого дня с номером d (d отсчитывается от начала года).

$$S_a = 4.46 * 10^{-13} (T_a + 273.15)^6 (1 + 0.17N^2),$$

$$S_w = 4.47 * 10^{-8} (T + 273.15)^4,$$

$$S_f = 0.459 f(\omega) (T - T_a),$$

$$S_{is} = f(\omega) (e_s - e_a),$$

где $e_s = 25.4 \exp\left(17.62 - \frac{5278}{T + 273.15}\right)$ – давление водяного пара на высоте 2 м, $e_a = 25.4 \exp\left(17.62 - \frac{5278}{T_a + 273.15}\right)$ – давление водяного пара на уровне водной поверхности, $T_d = \frac{(T_a + 273.15) 5278}{5278 - \ln \psi(T_a + 273.15)} - 273.15$ – температура конденсации (точка росы) в °С.

С помощью вышеуказанных формул также возможно прогнозирование процессов эвтрофирования в Цимлянском водохранилище [9,10].

Литература

1. Молев М.Д., Занина И.А., Стуженко Н.И. Синтез прогнозной информации в практике оценки эколого-экономического развития региона // Инженерный вестник Дона, 2013, №4.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1993.
 2. Гавриловский Д.В. Экологические проблемы Цимлянского водохранилища // Новая наука: теоретический и практический взгляд: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф.– Стерлитамак, 2015.–Ч.2. – С. 17-19.
 3. Вишневецкий В.Ю., Ледяева В.С. Экспериментальные исследования загрязнений тяжелыми металлами в донных отложениях в Таганрогском заливе // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1).
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1141.
 4. Кизицкий Р.М. Эколого-геохимические особенности распределения свинца и ртути в донных отложениях: на примере Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря. Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. канд. техн. наук.
URL: dissercat.com/content/ekologo-geokhimicheskie-osobennosti-raspredeleniya-svintsa-i-rtuti-v-donnykh-otlozheniyakh-n#ixzz27I27YPos.
 5. Заграничный К.А. К вопросу об источниках и объемах поступления нефтяных компонентов в акваторию Черного моря // Инженерный вестник Дона, 2014, №1
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2300.
 6. Семенова Е. А., Маршалкин М.Ф., Саркисова С. Г. От экологически ответственного хозяйствования к сохранению водных и энергетических ресурсов // Инженерный вестник Дона, 2014, №2.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2375.
-

7. Правила использования Цимлянского водохранилища. М.: Росводресурсы, 2014. 401с.
8. Велокурова Н. И. Гидрометеорологическая характеристика Азовского моря // Москва. Ленинград: Гидрометеиздат, 1957. — 116 с.
9. Harleman D., Brocard D., Najarian T. A predictive model for transient temperature distributions in unsteady flows. Cambridge, 1973 (MIT, Report, №175). pp. 48-51.
10. Jacques C.J. Mathematical model of river flow management for the control of water quality. Mathematical modeling. 1980. Vol. 1, pp.71-90.

References

1. Molev M.D., Zanina I.A., Stuzhenko N.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1993.
 2. Gavrilovskiy D.V. Novaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad: sb. st. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sterlitamak, 2015.Ch.2. pp. 17-19.
 3. Vishnevetskiy V.Yu., Ledyayeva V.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (chast' 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1141.
 4. Kizickij R.M. Jekologo-geohimicheskie osobennosti raspredeleniya svinca i rtuti v donnyh otlozheniyah: na primere Taganrogskogo zaliva i jugovostochnoj chasti Azovskogo morja [Ecological and geochemical features of the distribution of lead and mercury in sediments: the example of Taganrog Bay and the south-eastern part of the Sea of Azov]. Avtoreferat dissertacii na soisk. uch. st.kand. tehn. nauk. URL: dissercat.com/content/ekologo-geokhimicheskie-osobennosti-raspredeleniya-svintsa-i-rtuti-v-donnykh-otlozheniyakh-n#ixzz27I27YPos5.
 5. Zagranichnyy K.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2300.
-



6. Semenova E. A., Marshalkin M.F., Sarkisova S. G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2375.
7. Pravila ispol'zovaniya Tsimlyanskogo vodokhranilishcha. M.: Rosvodresursy, 2014. 401p.
8. Velokurova N. I. Gidrometeorologicheskaya kharakteristika Azovskogo morya. Moskva.Leningrad: Gidrometeoizdat, 1957. 116 p.
9. Harleman D., Brocard D., Najarian T. A predictive model for transient temperature distributions in unsteady flows. Cambridge, 1973 (MIT, Report, №175).
10. Jacques C.J. Mathematical model of river flow management for the control of water quality. Mathematical modeling. 1980. Vol. 1, pp.71-90.