

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СОХРАНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БОЛЬШИХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕР И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Л. А. Руховец (Санкт-Петербург)

Проблема дефицита пресной воды на планете хорошо известна. Уже сейчас около 2 млрд жителей планеты живет в условиях водного дефицита. Более того, дефицит пресной воды будет только увеличиваться, если сохранятся современные тенденции в водопотреблении и не изменится характер водопользования. Огромна антропогенная нагрузка на водные ресурсы суши. Согласно имеющимся прогнозам [2, 3], к 2025 году количество потребляемой пресной воды может достичь уровня имеющихся экономически доступных запасов. Можно сказать, что проблема дефицита пресной воды более острая, чем проблема с запасами углеводородов.

В нашей стране нет проблемы дефицита пресной воды, Россия занимает второе место в мире по объему пресноводного стока. Однако достаточно остро стоит проблема качества пресной воды.

Одним из значимых запасников пресной воды являются крупнейшие озера, такие как Байкал, американские Великие озера, крупнейшие озера Европы – Ладожское и Онежское.

Для сохранения водных ресурсов суши можно выделить следующие важнейшие проблемы – определение уровней допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты и сохранение водных экологических систем, которые и поддерживают качество воды.

Для определения допустимой антропогенной нагрузки, для сохранения устойчивости водных экосистем Ладожского и Онежского озер были созданы математические модели.

Первые модели экосистемы Ладожского озера были созданы В.В. Меншуткиным и О.Н. Воробьевой в 1987 году [6] и А.В. Леоновым, М.М. Остапенко и Е.Н. Лаптевой в 1990 году [5].

Позднее в период 1998–2010 гг. в Санкт-Петербургском экономико-математическом институте РАН сотрудниками института Г.П. Астраханцевым, Т.Р. Мининой, В.Н. Полосковым во главе с директором Л.А. Руховцом были созданы модели гидротермодинамики и модели экосистемы Ладожского и Онежского озер [1, 12]. В создании моделей принимали участие Н.А. Петрова – сотрудница Института озераведения РАН и В.В. Меншуткин – один из пионеров создания моделей экосистем озер, в настоящее время также сотрудник СПб ЭМИ РАН. В создании моделей для Онежского озера принимали участие Н.Н. Филатов – директор Института водных проблем Севера Кар.НЦ РАН и сотрудник этого института А.Ю. Тержевик.

Приведу перечень созданных моделей.

Трехмерные модели для Ладожского озера:

- модель гидротермодинамики Ладожского озера; воспроизводит круглогодичную циркуляцию озера – систему течений и температурный режим (1998–2003);
- модель, основанная на круговороте азота и фосфора (1992);
- базовая модель, основанная на круговороте фосфора (1998);
- модель, имеющая три трофических уровня (1998);
- модель, включающая зообентос (2003);
- модель сукцессии фитопланктона (2003);
- комплексная модель экосистемы Ладожского озера (2008);
- новая версия модели сукцессии (2010).

Трехмерные модели для Онежского озера:

- модель гидротермодинамики Онежского озера (2002);
- модель экосистемы Онежского озера (2005);
- модель распространения загрязнений (2004);
- модель распространения нефти по поверхности водоема (2002);

Все эти модели трехмерные, кроме модели распространения нефти по поверхности водоема. Модели реализованы на сетках с достаточно высоким разрешением по вычислительным алгоритмам, созданным Г. П. Астраханцевым и Л. А. Руховцом [1, 9,10].

Относительно создания моделей приведу несколько общих замечаний. В значительной степени они относятся к моделям живой природы. В данном случае – к моделям водных экосистем. Тем не менее, их можно отнести и к любым моделям. Эти замечания достаточно очевидны, но мне представляется полезным их напомнить.

- При создании математических моделей обычно используются данные и знания о моделируемых объектах, процессах или явлениях, имеющиеся на момент создания моделей, то есть данные и знания из прошлого и настоящего. Это, несомненно, следует учитывать при прогнозировании. То, что связано с изменениями внешних воздействий и что не меняет структуру модели, зачастую воспроизводится адекватно. Однако изменения в структуре модели или возникновение взаимодействий, неизвестных при создании модели, может приводить к неадекватности результатов моделирования реальности.

- При обсуждении результатов моделирования или самих моделей очень часто создателям моделей предъявляются претензии по поводу того, что в модели не учтены те или иные аспекты процессов или явлений. Нам представляется, что наиболее значимым аргументом является суждение о том, что модель непременно должна быть существенно проще изучаемого процесса или явления, иначе возникает сопоставимая по сложности задача исследования самой модели. Очевидно, что успехи моделирования существенно зависят от способностей создателей модели понять и оценить самые главные черты и характеристики, которые следует учитывать.

- Модели экосистем, в отличие от моделей неживой природы, хотя и используют в качестве языка описания дифференциальные уравнения, они не основаны на физических законах (в части трансформации субстанций) и на уравнениях химических реакций, поскольку трансформации в моделях экосистем рассматриваются на макроуровне. Эти трансформации (практически все) весьма сложны, и многие из них не до конца изучены (В. В. Меншуткин, [7]). Основу уравнений экологических моделей составляют различные эмпирические закономерности, установленные в процессе изучения и обработки результатов наблюдений. Эти уравнения содержат в изобилии эмпирические зависимости и коэффициенты. Фундаментальной и бесспорной основой этих уравнений служат законы сохранения (изменения) массы вещества. Точное выполнение законов сохранения массы вещества в дискретных моделях является важным фактором контроля за адекватностью дискретной реализации моделей.

- Перечисленные ограничения возможностей создания и применения моделей не отрицают необходимости и важности математического моделирования экосистем как инструмента исследований.

Из всех моделей остановлюсь более подробно на модели гидротермодинамики и ее использовании для построения климатической циркуляции и оценки с ее помощью возможных изменений в гидротермодинамическом режиме Ладожского озера под влиянием изменения климата на водосборе озера вследствие глобального потепления.

Созданные модели использовались для исследования эволюции экосистем Ладожского и Онежского озер в процессе антропогенного эвтрофирования. Некоторые из этих моделей вошли в состав СППР (системы поддержки принятия решений) по интег-

рированному управлению водной системой Ладожское озеро–река Нева–Невская губа [4, 8].

Литература

1. Астраханцев Г. П., Меншуткин В. В., Петрова Н. А., Руховец Л. А. Моделирование экосистем больших стратифицированных озер // Под ред. Л.А. Руховца. СПб: Наука, 2003. 363 с.
2. Данилов-Данильян В. И. Устойчивое развитие (теоретико-методологический анализ) // Вестник РАН. 2007. Т. 77. № 2. С. 108–114.
3. Данилов-Данильян В. И. Водные ресурсы – стратегический фактор долгосрочного развития экономики России // Вестник РАН. 2009. Т. 79. № 9. С. 789–798.
4. Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Опыт создания системы поддержки принятия решений / Под ред. А.Ф. Алимова, Л.А. Руховца и М.М. Степанова. СПб: СПб Научный центр РАН, 2001. 420 с.
5. Леонов А. В., Осташенко М. М., Лаптева Е. Н. Математическое моделирование процессов трансформации органического вещества и соединений биогенных элементов в водной среде: предварительный анализ условий функционирования экосистемы Ладожского озера // Водные ресурсы, 1991. № 1. С. 51–72.
6. Меншуткин В. В., Воробьева О. Н. Модель экосистемы Ладожского озера. В сб. Современное состояние экосистемы Ладожского озера. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1987. С. 187–200.
7. Меншуткин В. В. Имитационное моделирование водных экологических систем. СПб.: Наука, 1993. 154 с.
8. Невская губа – опыт моделирования / Под ред. В.В. Меншуткина. СПб.: СПб НЦ РАН, 1994. 375 с.
9. Astrakhansev G. P., Rukhovets L. A. On the improvement of the approximation order for discrete model of circulation in the deep lake. Jyvaskyla-St.Petersburg Seminar on Partial Differential Equations and Numerical Methods, Proc. Jyvaskyla Univ. Math. Inst., 56. 1993. P. 5–24.
10. Astrakhansev G. P., Rukhovets L. A. A three-dimensional model of transformation of biogenes and organic matter in lakes. Russ. Journal of Numerical Analysis and Mathem. Modelling, 1994. Vol. 9. № 1–12.
11. Astrakhansev G. P., Poloskov V. N., Rukhovets L. A. Numerical model of the Lake Ladoga: model of the climatic circulation and ecosystem model. Proceeding of work-shop in Helsinki, May, 1998. P. 80-97.
12. Rukhovets L. A., Filatov N. N. (Eds). Ladoga and Onego – Great European Lakes: Observation and Modeling. Springer-Praxis Publishing. 2010. 320 p.