

2. Когановский А. М. Адсорбция органических веществ из воды / А. М. Когановский, Н. А. Клименко. — СПб.: Химия, 1990.
3. Фролов В. А. Процессы и аппараты химической технологии / В. А. Фролов. — СПб.: Химиздат, 2003.
4. Михрин Л. М. Предотвращение загрязнения морской среды с судов и морских сооружений / Л. М. Михрин. — СПб.: ИПК «Бионт», 2005.

**УДК 502:627.81+627.81:519.6**

**Н. В. Растрьгин,**  
канд. техн. наук, доцент;  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**А. Ю. Романова,**  
аспирант,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ**

### **MODELING OF RESERVOIRS IN THE WATER RESOURCES CONTROL SYSTEM**

*В статье представлена классификация водохранилищ по основным признакам, определяющим их негативные воздействия на окружающую среду. Для компенсации названных воздействий положительными эффектами сформулирована основная задача управления водными ресурсами водохранилищ. Дана краткая характеристика основных моделей ВХС. Определены основные проблемы моделирования водохранилищ.*

*The classification of reservoirs by the main signs determining their negative influences on the environment is presented in the article. The basic problem of reservoirs water management is formulated for compensation of negative influences by positive effects. Short description of basic models of the aquicultural systems is given. Major problems of modeling of reservoirs are defined.*

*Ключевые слова: водохранилища, классификация водохранилищ, воздействие на окружающую среду, управление водными ресурсами, математическое моделирование ВХС, задачи и цели моделирования.*

*Key words: reservoirs, reservoirs classification, the impact on the environment, water management, mathematical modeling of the aquicultural systems, problems and objectives of mathematic modeling.*

**О** ДНИМ из возможных решений проблемы дефицита пресной воды на Земле является регулирование речного стока, перераспределение его во времени, позволяющее наиболее эффективно и рационально использовать имеющиеся водные ресурсы. Наиболее распространенным способом регулирования речного стока является создание водохранилищ [1, с. 3–6].

Эти водные объекты разнообразны по генезису, форме и размерам, целевому назначению и использованию, характеру регулирования и многим другим показателям. Существует множество различных их классификаций по характерным признакам. С нашей точки зрения, целесообразно выделить те из них, которые смогут отразить основную проблематику создания и использования водохранилищ (табл. 1) [2, с. 202–203; 3, с. 20–21].

Таблица 1

**Классификация водохранилищ**

| Классифицируемые признаки   | Тип водохранилища                                           | Основные эффекты                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                                             | положительные                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | отрицательные                                                                                                                                                                                                                              |
| По генезису                 | Водохранилища в долинных реках (и на временных водотоках)   | — обеспечение населения городов и развивающегося хозяйства необходимым и постоянным объемом воды в любое время суток и время года;<br>— обеспечение промышленности недорогостоящей электроэнергией за счет создания гидроэлектростанций;<br>— уменьшение или ликвидация опасности наводнений, маловодий и селей | — изменение микроклимата прилегающей территории;<br>— изменение гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов реки                                                                                                      |
|                             | Зарегулированные озера (озера-водохранилища)                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | Наливные водохранилища                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | Водохранилища-коллекторы и приемники сточных и сбросных вод |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | Подземные водохранилища                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | Морские водохранилища                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
| По географическому признаку | Водохранилища равнин                                        | — уменьшение или ликвидация опасности наводнений, маловодий и селей;<br>— возможность использования ранее непродуктивных земель в хозяйственных целях;<br>— улучшение судоходных условий на участках рек, где ранее судоходство было затруднительно или вообще отсутствовало                                    | — затопление огромных площадей плодородной земли;<br>— интенсивная переработка берегов;<br>— эрозия почв;<br>— подтопление и заболачивание прилегающей территории;<br>— влияние крупных водохранилищ на современные тектонические процессы |
|                             | Водохранилища предгорных и плоскогорных областей            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | Горные водохранилища                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
| По конфигурации             | Пойменные                                                   | — уменьшение или ликвидация опасности наводнений, маловодий и селей;<br>— улучшение судоходных условий на участках рек, где ранее судоходство было затруднительно или вообще отсутствовало;<br>— живописный пейзаж и зона для отдыха и купания                                                                  | — затопление огромных площадей плодородной земли;<br>— интенсивная переработка берегов;<br>— эрозия почв;<br>— подтопление и заболачивание прилегающей территории;                                                                         |
|                             | Долинные                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | Озеровидные (продолговатые, широкие и лопастные)            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |

Таблица 1  
(Окончание)

|                             |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| По интенсивности водообмена | Очень большой<br>(менее 1,0)                 | — осветление воды в водохранилищах;<br>— снижение ее цветности;<br>— уменьшение содержания вредных бактерий                                                                                                                                                                                                                      | — снижение самоочищающей способности водохранилищ;<br>— его эвтрофирование;<br>— изменение микроклимата прилегающей территории;<br>— изменение гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов реки |
|                             | Большой<br>(0,10–0,24)                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | Значительный<br>(0,25–0,49)                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | Средний<br>(0,50–0,99)                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | Небольшой<br>(1,0–1,99)                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | Малый<br>(более 2,0)                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
| По виду регулирования       | Суточное                                     | — обеспечение население городов и развивающегося хозяйства необходимым и постоянным объемом воды в любое время суток и время года;<br>— уменьшение или ликвидация опасности наводнений, маловодий и селей;<br>— улучшение судоходных условий на участках рек, где ранее судоходство было затруднительно или вообще отсутствовало | — изменение микроклимата прилегающей территории;<br>— изменение гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов реки                                                                                |
|                             | Недельное                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | Сезонное                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |
|                             | Многолетнее (включая годичное регулирование) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                      |

Как видно из приведенных данных, создание водохранилищ позволяет достичь не только каких-либо целевых задач, но и влечет за собой ряд отрицательных изменений на прилегающей территории. Их влияние на окружающую среду может проявляться по-разному: прямо и косвенно; постоянно и временно; нарастающее, постоянно по годам или затухающее.

Управление системами водопользования состоит в выборе параметров создаваемых или реконструируемых систем и в изменении характеристик и (или) режимов функционирования уже существующих. При этом основной задачей управления водными ресурсами следует считать уменьшение негативного воздействия водохранилищ на окружающую среду и увеличение положительного эффекта. Для ее решения необходимо применить системный подход к управлению водными ресурсами водохранилищ и на его основе разработать критерии оптимизации.

Однако необходимо учесть, что наилучший вариант параметров и режимов функционирования системы с экономической точки зрения почти никогда не будет соответствовать наиболее благоприятному экологическому состоянию водных объектов, которое не обеспечит приемлемый хозяйственно-производственный уровень. В большинстве случаев необходимо найти наиболее благоприятный компромиссный вариант развития и функционирования водохозяйственной системы (ВХС). Он определяется на основе системного подхода, то есть рассмотрение ВХС как единой природно-техногенной системы (ПТС), с учетом всех возможных социальных, экологических, экономических и других функций, с выработкой соответствующей системы критериев оптимизации [4, с. 16–17].

Водохранилище является искусственно созданным природным объектом, входящим в состав ВХС, являющейся природно-техногенной системой. Такие системы включают в себя природ-

ные, технические и экономические элементы, тесно связанные между собой вещественно-энергетическими и информационными потоками.

Природная часть обуславливает возможности ВХС, ее функционирование и развитие и положительное и негативное влияние на окружающую среду. Основной же функцией ВХС является обеспечение всех водопользователей и водопотребителей водой необходимого качества в требуемом количестве.

Техническая составляющая определяет системы взаимосвязанных технических решений, сооружений, мероприятий, обеспечивающих действие ВХС. Экономическая часть учитывает интересы всех затрагиваемых отраслей и водопользователей [5].

Корректное решение всего комплекса сложных и многоцелевых задач возможно на основе использования комплексных математических моделей, учитывающих все аспекты создания и эксплуатации водохранилищ. Моделирование позволяет описать водные проблемы и выработать обоснованные рекомендации в использовании водного объекта [6].

ВХС являются динамическими и стохастическими системами. Процессы, связанные с протеканием природных вод, подачей воды водопользователям, поступлением и распространением загрязняющих веществ, их трансформацией в водной среде являются динамическими. А стохастичность системы обуславливается активным вмешательством в разнообразные составляющие природных процессов и экосистем.

Детальность учета пространственных и временных уровней обуславливает необходимость применения математических моделей различного типа. Среди них следует выделить имитационные и оптимизационные модели.

Имитационные модели ориентированы на обоснование полученных результатов и выработку правил управления системой в условиях будущей эксплуатации. В них рассматривается система с закрепленными параметрами, изучающаяся изменения во время эксплуатации при различных режимах водоподачи и водопотребления с учетом конфликтных ситуаций между отдельными водопользователями. Эти модели включают в себя множество различных параметров и не требуют введения критерия оптимальности. На выходе получают большой объем данных, требующий анализа и обработки. Построение показателей эффективности функционирования системы и включения их в задачу помогает упорядочить общее исследование, но для реализации задачи приходится упрощать допустимую область. И на основе данных, полученных при имитационном моделировании, создается более конкретизированная оптимизационная модель.

Оптимизационные модели используются для определения параметров водохозяйственных систем в соответствии с выбранными критериями или системой критериев, позволяющих выбрать из ряда возможных мероприятий такой вариант развития, который обеспечивает рациональное (с социально-экономических позиций) использование и охрану дефицитных водных, земельных и других ресурсов [7, с. 7–10]. Кроме того, нужно учесть возможное изменение во времени значимости различных характеристик (критериев), определяющих функционирование системы, в особенности это касается биологических живых подсистем как наиболее динамичных [9, с. 12–24]. Отсутствие единой системы мониторинга ВХС не позволяет получить статически значимый материал по всем аспектам.

При решении реальных комплексных задач в водном хозяйстве приходится использовать упрощенные математические модели из-за недостаточности или ненадежности исходной информации в области взаимодействия водного хозяйства с природой. А отсутствие экономических оценок нанесенного ущерба окружающей среде приводит к ограничениям использования водных ресурсов.

Для решения всего комплекса проблем использования водохранилищ необходимо создать социально-эколого-экономическую модель, которая позволит контролировать не только гидрологические, гидрохимические и гидробиологические процессы в водохранилищах, но и экономические аспекты с учетом социальных факторов.

Трудность создания таких моделей заключается в том, что разработанные ранее гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, экономические и социальные модели не взаи-

мосвязаны между собой и применяются отдельно друг от друга. Также эти модели находятся на разной стадии изученности процессов, происходящих в системе. Наиболее распространенными и изученными являются гидрологические модели, позволяющие с определенной точностью предсказать гидрологические изменения в реке. Гидрохимические модели не имеют повсеместного применения, разработаны для ограниченного количества водных объектов, так как недостаточно проработаны методики для описания происходящих в водохранилищах процессов. Наименее изученными в водохранилищах являются гидробиологические процессы, так как не разработана методика описания процессов и, что более важно, отсутствуют необходимые данные для ее реализации. А экономические модели в свою очередь отражают только первичный экономический эффект от реализации природоохранных мероприятий (экономическая эффективность капиталовложений, срок окупаемости и др.), что не позволяет в полной мере оценить сложившуюся ситуацию без учета вторичного эффекта. Социальные модели разрабатываются на основе экономических [8, с. 158–160].

Также основной сложностью создания комплексных моделей является необходимость согласования между собой параметров и величин, имеющих различную природу и физический смысл. ВХС является многокомпонентной системой, что усложняет взаимодействие различных элементов.

Таким образом, модель водохранилища должна носить адаптивный характер, то есть управляющие воздействия (параметры и критерии управления) должны изменяться в соответствии с функциональными особенностями системы на данный момент времени.

### Выводы

1. ВХС должна рассматриваться как единая ПТС.
2. Управление должно осуществляться на основе социально-эколого-экономических моделей, носящих адаптивный характер.
3. Основным препятствием создания социально-эколого-экономической модели является отсутствие методик, увязывающих между собой многообразие гидрологических, гидробиологических, экономических и социальных параметров, тем самым упростив управление ВХС.
4. Возможность разработки качественных методик упирается еще в одну проблему: отсутствие необходимого объема исходной информации, которая служит базой для системного подхода к функционированию ВХС.

### Список литературы

1. Авакян А. Б. Многоликие водохранилища феномен XX века / А. Б. Авакян // Актуальные проблемы водохранилищ. — Ярославль: Тип. Ярослав. гос. техн. ун-та, 2002.
2. Матарзин Ю. М. Классификация водохранилищ по генезису образующих котловин / Ю. М. Матарзин // Актуальные проблемы водохранилищ. — Ярославль: Тип. Ярослав. гос. техн. ун-та, 2002.
3. Авакян А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. — М.: Мысль, 1987.
4. Пряжинская В. Г. Математическое моделирование в управлении водными ресурсами / В. Г. Пряжинская, А. Д. Рикун, В. М. Шнайрман [и др.]. — М.: Наука, 1988.
5. Двинских С. А. Структура водохранилища как природно-техногенной системы / С. А. Двинских // Актуальные проблемы водохранилищ. — Ярославль: Тип. Ярослав. гос. техн. ун-та, 2002. — 77 с.

6. *Доценко Ю. С.* Программный комплекс для динамического и оперативного расчета гидрологического режима и качества воды водохранилищ / Ю. С. Доценко, В. В. Пуклаков, К. К. Эдельштейн // Актуальные проблемы водохранилищ. — Ярославль: Тип. Ярослав. гос. техн. ун-та, 2002. — 76 с.

7. *Пряжинская В. Г.* Математическое моделирование в водном хозяйстве / В. Г. Пряжинская. — М.: Наука, 1985. — С. 7–10.

8. *Растрьгин Н. В.* Водохозяйственные системы: методологические проблемы изучения / Н. В. Растрьгин // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства: журн. — М.: МГУП, 2010. — № 1 (158). — 160 с.

9. *Шитиков В. К.* Количественная гидроэкология: методы системной индентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. — Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 2003. — С. 12–24.