

2. Плотина. НЕТ! Нижнее-Богучанская ГЭС. [Электронный ресурс]: сайт – Красноярск, 2007-2015. – Режим доступа: www.plotina.net],

3. Вечная мерзлота. [Электронный ресурс]: сайт –2002. – Режим доступа: www.gordon0030.narod.ru.

4. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2013 году». – Красноярск, 2014. 282 с.

5. Даниленко О.К., Узрюмов Б.И., Яремчук Р. Влияние затопления Богучанского водохранилища на продуктивность древостоев береговой полосы. (БрГУ, г. Братск, РФ)

[Электронный ресурс] Режим доступа: http://science-bsea.bgita.ru/2007/les_2007/danilenko_vlijanie.htm

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ
МЕРОПРИЯТИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
(на примере водохозяйственного комплекса Нижней Волги)**

Левит-Гуревич Л.К., Болгов М.В.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
lev-gyr@yandex.ru

Методология обоснования приоритетных водохозяйственных мероприятий представляет собой инструмент рационального выбора, сочетающий решение оптимизационных задач с неформальными эвристическими подходами. Выбор мероприятий проводится на водохозяйственном участке крупной реки или в бассейне средней реки. Для нашего примера – это Нижняя Волга – уникальный по природным богатствам регион России, на территории которого сталкиваются интересы разных отраслей народного хозяйства, использующих водные ресурсы. Кроме рыбного хозяйства есть другие направления: питьевое и промышленное водоснабжение, орошение и обводнение, речной и морской транспорт. Хозяйственное развитие региона требует эффективного управления в увязке с работой Волжско-Камского каскада водохранилищ (ВКК). Особенностью региона является сетевое строение водотоков.

В 21 км выше Волгограда от Волги отделяется левый рукав — Ахтуба (длина 537 км), которая течёт параллельно основному руслу р. Волги. Междуречье — Волго-Ахтубинская пойма (14 тыс. км²) на

всем протяжении прорезана рукавами, протоками, воложками, здесь масса мелководных озер, много крупных островов. Дельта площадью 19 тыс. км² делится на три зоны: верхнюю, среднюю, нижнюю – с интенсивными разветвлениями русел. Водотоки верхней и средней зон также разделяются по крупности: главное русло, рукава, протоки, ерики, банки, каналы, - всего 482 водотока.

Обоснование приоритетных водохозяйственных мероприятий комплекса Нижней Волги включает *три уровня детальности*. На *верхнем уровне* рассматривается регион в целом и водное хозяйство как совокупность общих отраслей: водопотребление и водопользование, охрана водных объектов, защита от вредного воздействия вод, поддержание хорошего качества вод и высокого экологического состояния водных объектов.

На *среднем уровне* выделяются ограниченные водные территории: район Волго-Ахтубинской поймы от плотины Волжской ГЭС до села Каменный Яр, ниже этого села до г. Нариманов, головной узел дельты Волги и верховья дельты, средние Восточная и Западная части дельты, район Западных подстепных ильменей, прибрежные части дельты у Каспийского моря (рис.1). Принятие решений состоит в выборе агрегированных направлений водохозяйственной деятельности, детализирующих перечисленные выше отрасли водного хозяйства.

Нижний, детальный уровень состоит в выборе конкретных мероприятий на водных объектах, примыкающих к городам, населенным пунктам, предприятиям и промыслам.

Рассматриваются следующие виды мероприятий:

- технические разовые (строительство и реконструкция сооружений: шлюзы, дамбы, очистные сооружения, насосные станции и пр.);

- технические продолженные (действия, повторяющиеся целенаправленно, например, укрепление берегов, расчистка русла и расчистка дна водоемов и ильменей, и пр. в условиях режима постоянного заиливания и занесения наносами);

- экологические, направленные на сохранение качества среды в сфере экологии водных объектов (разведение, поддержание флоры и фауны установление границ водоохранных зон, восстановление растительности, приведение в порядок территорий, очистка и обустройство прибрежных полос, работы по сетям ливневой канализации, защита подземных вод от загрязнения, зарыбление и пр.);

- организационные (выполнение требуемых режимов работы, вододделение по водотокам дельты и др.).

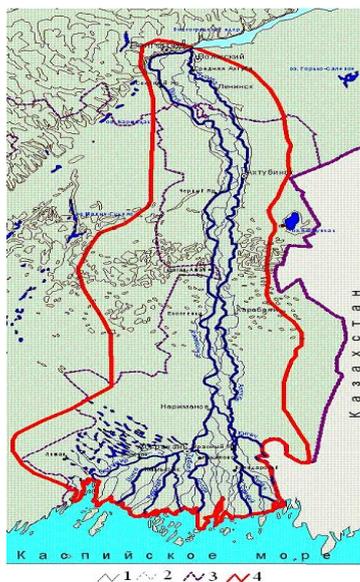


Рис. 1 – Карта-схема региона Нижней Волги в границах водосборной площади и областей: 1 – изолинии, 2 – граница областей, 3 – граница РФ, 4 – граница водосборной площади

На этапах методологии обосновываются основные параметры общих отраслей водного хозяйства, агрегированных видов и конкретных мероприятий в виде фондов этих отраслей, видов, мероприятий. Фонды включают не только совокупность сооружений, систем и пр., но и результат выполненных работ на водных объектах, например, укрепление берегов. Стоимость фондов оценивается по укрупненным показателям стоимости сооружений, технических и иных мероприятий, также, как и показатели их результативности. При этом не все виды и мероприятия имеют экономическую эффективность (например, обоснование оценки эффективности мероприятий экологического характера проблематично).

Порядок расчетов стоимости и эффективности сформулирован отдельными положениями. Учитывается, что если намечено новое строительство или выполнение работ, то через определенный промежуток времени Δt_m в несколько лет появляется необходимость реконструкции или ремонта (рассматривается как самостоятельное

мероприятие). Временные рамки необходимой реконструкции определяются по сроку службы, изношенности оборудования и пр. Рассматривается многолетний период, поскольку сроки строительства сооружений и осуществления мероприятий могут превышать один год, а эффект от их осуществления имеет влияние продолжительное время в последующие годы.

Аналогично стоимостям принимаются ежегодные эксплуатационные затраты по удельным величинам для впервые осуществляемого мероприятия (новое строительство) и для действующих сооружений. При выборе очередности строительства оперируют не стоимостями K и эксплуатационными затратами E , а приведенными стоимостями $Z=E+K/T_n$, где T_n - нормативный срок окупаемости в годах. При выборе конкретных мероприятий находится год t'_m начала (строительства, проведения работ) на шкале лет $t = \overline{1, T}$. Капитальные затраты предположительно равномерны при осуществлении мероприятия по годам, а эксплуатационные растут линейно от начала до конца реализации, затем постоянны.

Идеи выбора приоритетных мероприятий следующие.

1. Совокупность гидрологического стока реки и хозяйственно-экономических условий региона как прогноз на многолетний период представляют собой природно-экономический сценарий, дополняемый по мере проведения расчетов основными параметрами и оценками объемов и стоимостей фондов отраслей водного хозяйства, видов и конкретных мероприятий.

2. Оцениваются объемы и стоимости максимально возможных водохозяйственных фондов Φ^T по всем водным отраслям и направлениям (видам мероприятий) в перспективе на далекий год T . Ежегодно выполняемые работы по отраслям и направлениям водохозяйственной деятельности устанавливаются в соотношении найденных фондов в перспективе.

3. Выбор очередности водных мероприятий осуществляется в рамках одного сценария по этапам:

- оценка фондов отраслей водного хозяйства в перспективе и по годам развития,
- выбор рационального варианта агрегированных направлений водохозяйственной деятельности (видов мероприятий) на основе проведенного оценочного выбора отраслей,
- выбор конкретных мероприятий с определенными допущениями в опережении или отставании на основе выбранных направлений.

4. Выбор фондов развития отраслей водного хозяйства и агрегированных направлений водохозяйственной деятельности (видов мероприятий) осуществляется по всем отраслям и видам одновременно. При этом рассматриваются как доходные отрасли: рыбное хозяйство, водный транспорт, орошение, водоснабжение, так и «бездоходные» отрасли, ущерб от невыполнения мероприятий которых определить сложно.

Технология выбора рациональных мероприятий на основе высказанных выше идей представляет собой процесс разработки сценариев развития водного хозяйства региона и проводится по этапам, в состав которых включается решение следующих вычислительных задач:

А) расчеты объемов и стоимости фондов направлений водохозяйственной деятельности;

В) определение характеристик развития водохозяйственной деятельности в многолетний период;

С) определение рационального режима пропуска расходов по сети водотоков;

Д) рациональный выбор конкретных мероприятий.

Задача А. Определяются объемы и стоимости фондов Φ^T_m , $m = 1, M$, различных видов мероприятий водного хозяйства на перспективу – т.е. осуществляется стоимостная оценка материальной базы водного хозяйства и водной деятельности на конечный год T (например, $\Phi^T_{\text{укрпл_берегов}} = f \cdot s_f$, где s_f - площадь берегов, а f - удельная стоимость их укрепления; $\Phi^T_{\text{орошение}} = F \cdot s_F$, где s_F - площадь орошения, а F – удельная стоимость нового строительства либо реконструкции). Целесообразная площадь орошения определяется при решении оптимизационной задачи развития экономики региона. Аналогично находятся стоимости фондов других видов водохозяйственных мероприятий.

Задача В. Вычисляются суммарные ежегодные затраты на осуществление всех видов мероприятий водохозяйственной отрасли в многолетний период с помощью разработки укрупненной стратегии развития отрасли на основе принципов глобального моделирования [1]. Используется агрегированное описание влияющих факторов, показателей развития и связей обобщенными соотношениями (техническими, экономическими, водобалансовыми). Предполагается, что длительность развития охватывает перспективу в 20-30 лет, временная единица развития - год. Направления водохозяйственной

деятельности описывается стоимостью производственных фондов (зданий, сооружений, оборудования) $\Phi(t)$ с изменением во времени от Φ_m^0 до Φ_m^T . При этом выполняется определенное в задаче А соотношение производственных фондов направлений водной деятельности $\Phi_1^T : \Phi_2^T : \dots : \Phi_m^T \dots \Phi_{M-1}^T : \Phi_M^T$ как детализации общих фондов водопотребления, водопользования (гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт); вычисляется и суммарная их стоимость: $\Phi_{\Sigma m}^T = \Phi_1^T + \Phi_2^T + \dots + \Phi_m^T + \dots + \Phi_{M-1}^T + \Phi_M^T$.

Процесс перехода от начальных значений стоимости фондов к фондам в перспективе по каждому виду m мероприятий или по сумме всех видов Σm описывается уравнением:

$$\Phi_{\Sigma m}(t) = \Phi_{\Sigma m}^T - \alpha_{\Sigma m} e^{-\varphi t} + \beta_{\Sigma m} e^{-\psi t},$$

где α , φ , β , ψ - зависят от $\Phi_{\Sigma m}^0$, $\Phi_{\Sigma m}^T$, удельных стоимостей и коэффициента темпов развития λ :

$$\lambda = [\alpha_{\Sigma m}/(\varphi+1) - \beta_{\Sigma m}/(\psi+1)] / [\alpha_{\Sigma m} - \beta_{\Sigma m}], \quad 0 < \lambda < 1.$$

При $\lambda=0.90-0.75$ – происходит быстрое развитие, при $0.74-0.60$ – умеренно ускоренное, значения $0.59-0.40$ соответствуют средним темпам, $0.40-0.25$ – замедленным, $\lambda=0.25-0.10$ обозначают слабое развитие. Определяются необходимые затраты по годам.

Основные фонды всех водохозяйственных элементов водной отрасли как функции времени в соответствии с решением уравнений развития характеризуются начальным сравнительно быстрым изменением объемов и стоимостей водных отраслей путем нового строительства, затем медленным приближением к значениям, заданным в перспективе. Производственная строительная база постепенно, потом полностью, переходит на работу по реконструкции объектов. На рис. 2. приведены гипотетические примеры графиков зависимостей стоимостей фондов водной отрасли при анализе уравнения развития, где: 1 – монотонное развитие; 2 – задержка интенсивного этапа, 3 – сокращение устаревших, затем наращивание модернизированных, 4 – наращивание модернизированных фондов, сокращение устаревших.

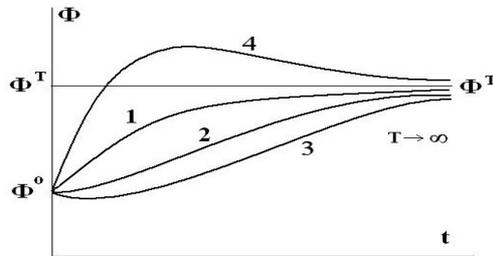


Рис. 2 – Примеры графика развития фондов водной отрасли

Кроме фондов и затрат определяется доход от водного хозяйства по годам, где d – удельный доход на единицу фондов. Тогда

$$D = d \int_0^T \Phi(t) e^{-\delta t} dt, \text{ и по приведенному выше уравнению развития}$$

$$D = d [\Phi^T / \delta + a / (\varphi + \delta) - b / (\psi + \delta)], \text{ где } \delta - \text{коэффициент дисконта.}$$

Затраты по годам и доход водного хозяйства зависят от среднегодового объема водных ресурсов W^+ , W^- поступающих в регион и уходящих, и коэффициента использования воды $0 \leq u \leq 1$, $u = W^- / W^+$.

Эксплуатационная задача С. Определяется рациональный режим пропуска расходов по сети водотоков. На Нижней Волге решение этой задачи позволяет выбрать поперечные регулирующие сооружения на водотоках с целью оптимизации режима распределения расходов - целесообразные места установки сооружений и основные их параметры. Так как междуречье Волги и Ахтубы, и дельта - сеть водотоков, - в результате решения этой задачи могут быть снижены холостые сбросы воды в море [4].

Задача D. Выбираются конкретные мероприятия водохозяйственной деятельности, включая очередность строительства и реконструкции (рис. 3). Выбирается t_m^o – год начала реализации m -го мероприятия, $m=1, 2, \dots, M$, Δt_m - продолжительность проведения работ, $\Delta Z_m(t)$ – затраты на осуществление мероприятия в t -м году. Суммарные затраты ограничиваются кривой $Z(t)$, полученной по решению задачи на этапе В.

Задача может быть решена по принципу ранжирования: мероприятия назначаются в порядке уменьшения величины $\Delta D_m / \Delta Z_m$, где ΔD_m – общий доход от осуществления мероприятия при $t > t_m^o$. Выполняется условие одновременного развития разных видов мероприятий по их стоимостям: если $\Delta \Phi_m = \Phi_m^T - \Phi_m^o$, то с некоторым до-

пуском соотношение $\Delta\Phi_1:\Delta\Phi_2:\Delta\Phi_3\dots:\Delta\Phi_M$ соответствует приведенному выше $\Phi_1^T:\Phi_2^T\dots:\Phi_m^T\dots:\Phi_{M-1}^T:\Phi_M^T$. Осуществляется также контроль смысловой правильности выбора путем логических «таблиц решений» [2], - глупо, например, сначала строить насосную станцию, а потом лишь сам водоем.

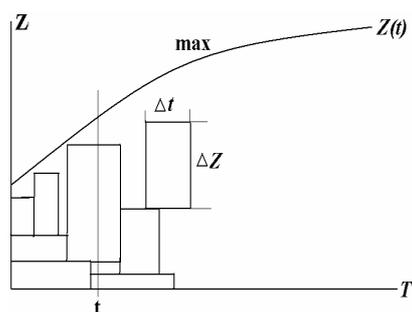


Рис. 3 – Иллюстрация постановки и решения задачи выбора конкретных мероприятий

Водохозяйственная зональность Нижней Волги, проблемы региона и пути их решения подробно изложены в [3]. Виды мероприятий развития водного хозяйства Нижней Волги это: I. Повышение водообеспеченности региона в целом; II. Водоснабжение (промышленное, коммунальное, питьевое); III. Рыбохозяйственные мероприятия (рыбозаводы, рыбные хозяйства, нерестилища и др.); IV. Мероприятия на водотоках (расчистка, углубление, вододеление); V. Обустройство водоемов, ильменей (расчистка, углубление, поддержание флоры и фауны); VI. Ирригация (площади орошения, повышение эффективности оросительных систем); VII. Гидротехническое строительство на водотоках (шлюзы, насосные станции, каналы); VIII. Защита от загрязнений (очистные сооружения, водоохранные зоны); IX. Защита от затоплений и подтоплений (обвалование, вынос из зон затоплений, пр.); X. Развитие и обустройство водного транспорта (пирсы, бакены, затоны, пристани); XI. Водоотведение (в промышленности, коммунальное, сельскохозяйственное, с ферм); XII. Обводнение пастбищ и водоснабжение животноводческих ферм; XIII. Противозерозионные мероприятия; XIV. Мероприятия, связанные с подземными водами; XV. Борьба с посадкой урвней в водотоках Нижней Волги - укрепление дна основных водотоков ниже Волгоградского гидроузла.

Анализ общих направлений развития водного хозяйства на Нижней Волге приводит к формулировке детальных видов мероприятий (их число около 40), предложенных для решения проблем региона.

Анализ перспективных и существующих фондов направлений развития водного хозяйства на Нижней Волге, оценки затрат и доходностей, которые удалось собрать, позволили наметить рациональную очередность реализации видов мероприятий. Виды мероприятий не привязаны к определенному месту реализации, лишь комплексное мероприятие повышения водообеспечения относится к первым створам ниже Волгоградской плотины. Основанием для выстраивания очередности явились оценки затрат на реализацию водохозяйственных мероприятий и возможной доходности их с учетом примерного числа лет реализации. В очередь вошли и «бездоходные» экологические мероприятия, преследующие цели улучшения и сохранения состояния водотоков и водоемов Волго-Ахтубинского междуречья и дельты Волги в соответствии с высокими экологическими требованиями.

Очередность проведения комплексов мероприятий представляется следующей. I. Повышение водообеспеченности региона в целом. II. Приведение в порядок ильменей, в особенности Западных подступных ильменей. III. Хозяйственное и питьевое водоснабжение. IV. Рекреация. V. Расширение орошаемых площадей, реконструкция оросительных систем. VI. Рыбохозяйственные мероприятия. VII. Обустройство нерестилищ. VIII. Постоянно выполняемые мероприятия: очистка русел, обустройство водотоков, укрепление берегов, контроль водоотведения и сбросов сточных вод, развитие водоохранных мероприятий, промывки засоленных почв и др. (ежегодно в определенных объемах).

Оценка необходимости и выбор очередности водохозяйственных мероприятий должны повторяться каждые несколько лет, что гарантирует хорошее отслеживание региональных природных и хозяйственно-экономических изменений. Список предлагаемых к реализации конкретных мероприятий выявляется в результате анализа местных условий.

Литература

1. *Левит-Гуревич Л.К.* Формализация стратегии развития водного хозяйства и водоемких отраслей на основе принципов гло-

бального моделирования // Моделирование устойчивого регионального развития. Материалы третьей международной конференции. Часть II, Нальчик, 2009. С.140-148.

2. *Хамби Э.* Программирование таблиц решений. М: Мир, 1976. – 86 с.

3. *Болгов М.В., Левит-Гуревич Л.К.* Задачи и функции системы поддержки водохозяйственных решений по управлению водными ресурсами Нижней Волги // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. №5. - С. 507-518.

4. *Левит-Гуревич Л.К.* Метод динамического программирования выбора рационального водораспределения в дельте реки// Известия Самарского научного Центра РАН, Том 12, № 1(4), Самара: - изд-во Самарского научного Центра, 2010. - С. 950-957.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОД КАК УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОЙ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Розенталь О.М.

Институт водных проблем РАН, Москва,
orosental@rambler.ru

Мониторинг качества вод обеспечивает органы управления и водопользователей информацией о составе и свойствах вод, достоверность которой снижается в условиях пространственно-временной изменчивости контролируемых показателей. Для иллюстрации трудностей интерпретации результатов мониторинга качества вод рассмотрим пример (рис. 1), свидетельствующий о неоднозначности заключений органов водного контроля, получаемых при анализе проб, отобранных с разной периодичностью.

Если учитываются только результаты ежемесячного анализа (здесь – в июне-ноябре), то о промежуточной концентрации можно судить, соединив соответствующие точки №№1, 5, 9, 13, 17, 21 прямыми отрезками (сплошная линия на рис. 1). Если же проводится также анализ через полмесяца (№№ 3, 7, 11, 15, 19), то получим более детальную информацию (штриховая линия), а если раз в неделю – еще более детальную (пунктирная). Поскольку предельно допустимая концентрация меди (ПДК) равна 1 мкг/дм^3 , то видно, что результаты ежемесячных наблюдений свидетельствуют о соответ-