Novikov Alexander Vasilyevich, senior lecturer of the Department "General and environmental engineering", Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russia. e-mail: oiiecology@mail.ru

Sumarukova Olga Victorovna, senior lecturer of the Department "General and environmental engineering", Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiraseva, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russia. e-mail: oiiecology@mail.ru

УДК 502/504:627.81: 556.18 DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-126-131

Л.Д. РАТКОВИЧ, Н.В. САФОНОВА, Д.В. АГЕЕВ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА

В статье рассматриваются факторы повышения водообеспеченности в условиях многолетнего регулирования речного стока. В качестве объектов исследования взяты две водохозяйственные системы: Пензенское водохранилище в России и водохозяйственная система реки Меджерда в Алжире. Анализируется структура водопользования в названных речных бассейнах и дается последовательность обосновывающих водохозяйственных расчетов для реализации водохозяйственных проектов. Исследованы классические номограммы для оценки влияния коэффициента вариации годового стока на размеры полезного объема водохранилищ. Проведена серия расчетов на имитационной модели. Для бассейна Меджерды представлено несколько вариантов регулирования и перераспределения водных ресурсов между водохранилищами с учетом санитарно-экологического попуска в трансграничном створе. На примере Пензенского водохранилища анализируются наиболее существенные недостатки правил управления водными ресурсами. Обосновывается необходимость анализа репрезентативности и однородности гидрологических рядов, используемых в водохозяйственных расчетах. Приводится последовательность анализа водообеспеченности водохозяйственных систем в условиях многолетнего регулирования стока, от обоснования гидрологической информации до анализа результатов. Построены частные функции объема водохранилища в зависимости от обеспеченности покрытия водопотребления. Рассчитаны значения интенсивности прироста объема водохранилища в зависимости от коэффициента вариации при фиксированном значении автокорреляции.

Водохозяйственная система, водохозяйственный комплекс, многолетнее регулирование стока, объем водохранилища, обобщенные параметры стока и водопотребления, регулирование стока, номограммы для определения объема водохранилища, коэффициент вариации, коэффициент автокорреляции, имитационная водохозяйственная модель.

Введение. Проектное обоснование водохозяйственных систем строится на двух принципиальных позициях: принятой концепции развития водопотребления на рассматриваемом водном объекте и схеме водообеспечения участников водохозяйственного комплекса. Проблема осложняется в случае трансграничных водотоков [1]. Концепция развития водопотребления на планируемую перспективу зависит от общей стратегии размещения производительных сил. Расчетные объемы водопотребления и схема водообеспечения в свою очередь формируют систему требований к водным ресурсам и режим регулирования стока.

Разумеется, каждый конкретный объект обладает только ему присущими особенностями, в ряде случаев приводящими к необходимости решения дополнительных научно-практических задач. Схема водообеспечения зависит от состава и местоположения водопотребителей и специфики водопользователей, таких, например, как гидроэнергетика, водный транспорт, водные

экосистемы. Суммирование требований в сочетании с назначением расчетной схемы водохозяйственной системы определяет режим регулирования, который и представляет собой главную задачу предстоящих водохозяйственных расчетов и балансов. Наиболее сложным является режим многолетнего регулирования стока.

Цель и задачи исследований. Анализ водообеспеченности при многолетнем регулировании стока проведен на примере двух водохозяйственных систем: Пензенского водохранилища на реке Суре (Россия) и водохозяйственной системы реки Меджерда в Алжире. Сколь бы разными не были водохозяйственные системы, набор параметров, показателей и критериев во многих случаях совпадают. Поэтому ставилась задача проанализировать наиболее существенные особенности данных систем и дать общие рекомендации для их водохозяйственного обоснования. Кроме этого исследовалось влияние изменчивости годового стока и принятой обеспеченности удовлетворения требований к водным ресурсам на величину интегрального показателя – многолетней составляющей полезного объема водохранилища. Оценка сезонных особенностей – самостоятельная задача, которая в данном случае не затрагивалась.

Водохозяйственная система бассейна реки Меджерды.

Гидрографическая сеть бассейна Меджерды образована более чем сотней водотоков. Наиболее крупными являются приток Шук, Джедра, Берриш и Ренем, которые контролируют более половины поверхностного стока бассейна реки Меджерды, формирующегося на территории вилайи Сук-Ахрас, города и промышленного комплекса, где сосредоточены коммунально-бытовые и промышленные запросы к водным ресурсам. Часть водопотребления покрывается из существующего водохранилища Аин-Далия. Дефициты водопотребления должны удовлетворяться в соответствии с проектом водообеспечения бассейнового комплекса из водохранилища (Зарубежводстрой, 2000) на левобережном притоке Джедра. Оросительные системы, приуроченные к бассейну реки Ренем, правого притока Меджерды, по проектной схеме обеспечиваются из одноименного водохранилища Ренем.

Хотя среднемноголетний сток Меджерды в целом достаточен для водообеспечения собственных потребностей вилайи Сук-Ахрас, несовпадение режимов стока и водопотребления обуславливает наличие дефицитов водных ресурсов, которые не могут быть преодолены без регулирования стока, причем многолетнего. Остродефицитные периоды наблюдаются в летнее время, а в маловодные годы – даже зимой, в период дождей, поскольку основной объем речного стока проходится на период ноябрь-май.

Расчетные гидрологические характеристики Меджерды и притоков, задействованных в водохозяйственной системе, показаны на рисунке 1. Сток Меджерды и ее притоков характеризуется высокой многолетней изменчивостью (Cv = 0,6-0,7), что практически исключает возможность использования естественного стока реки без регулирования.

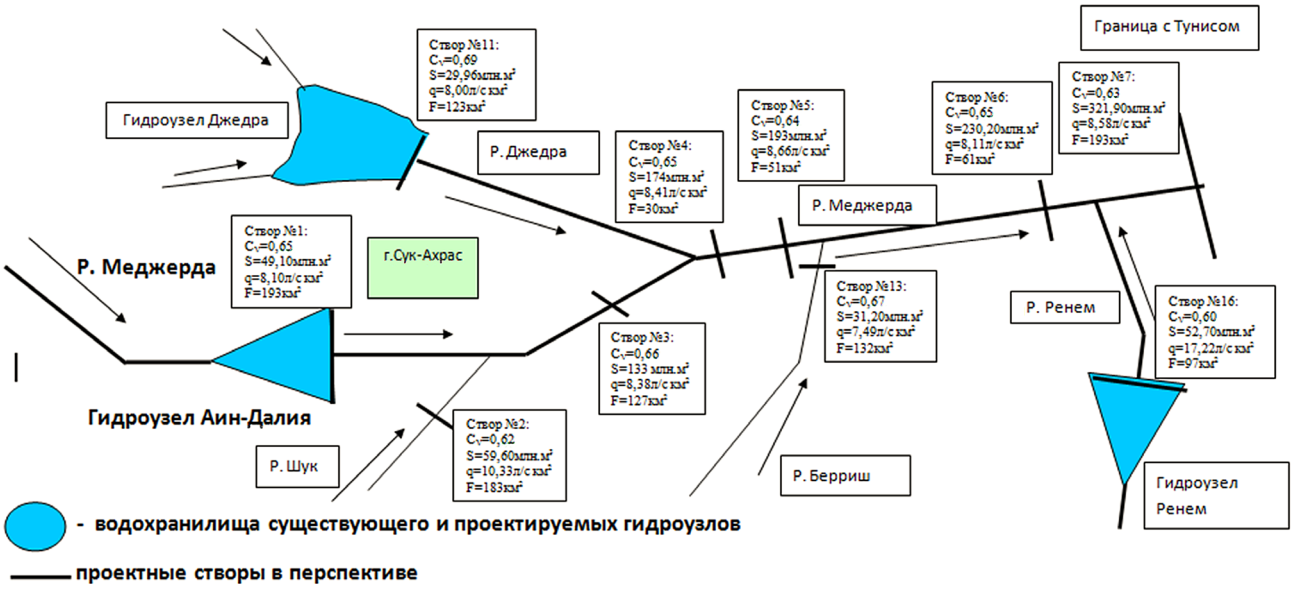

Рис. 1. **Основные гидрологические характеристики реки Меджерды**

Единственным гарантом водообеспечения в бассейне является существующее водохранилище Аин-Далия, которое не может покрыть более 70% гарантированной отдачи. Непокрываемый дефицит, как показали расчеты, составляет примерно третью часть водопотребления (около 15 млн м^3), заложенного в проекте этого гидроузла. Структура водопотребления в бассейне реки Меджерды и ее притоков представлена на рисунке 2.

На рисунке 2 показаны возможные схемы дотации воды в створы регулирования стока: насосная подкачка из Меджерды в водохранилище Джедра и в водохранилище Ренем.

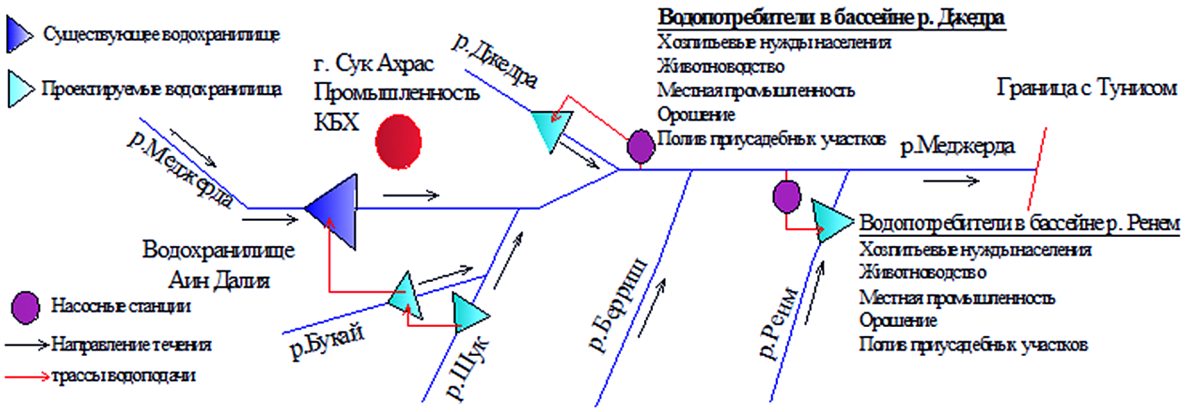

Рис. 2. **Размещение водопотребителей по территории бассейна и возможные схемы дотации части стока в регулирующие водохранилища**

Рассмотрен также вариант дотации стока из реки Шук, где создается напорный гидроузел для осуществления водозабора и строительства регулирующего водохранилища на реке Букай с переброской части трансфера в водохранилище Аин-Далия. Все варианты исследованы с помощью имитационных моделей. Основной вывод, имеющий научно-практическое значение, состоит в том, что компенсированное (в данном случае в режиме насосной подкачки) регулирование увеличивает гарантированную водоотдачу в 1,5-2,0 раза при одном и том же объеме водохранилищ.

Пензенское водохранилище. Река Сура является главной водохозяйственной артерией Пензенской области. Многолетний расход воды составляет 251,1 м^3/сек, многолетний объем стока – 11,7 км^3. Из реки Суры осуществляется водозабор для питьевых нужд городов Алатырь (46,9 тыс. человек) и Шумерля (41,0 тыс. человек). Река судоходна, но мало используется как транспортная система. Здесь расположены наиболее крупные промышленные предприятия, являющиеся как мощными потребителями вод, так и основными источниками водоотведения и загрязнения речного стока.

Большую роль для водопотребления играет Сурское (Пензенское) водохранилище (рис. 3). Его полный объём составляет 560 млн кубических метров, площадь – 110 квадратных километров. Гидроузел предназначен для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения городов Пензы и Заречного.

Центральная проблема состоит в том, что вариант регулирования, заложенный в действующие Правила использования водных ресурсов Пензенского водохранилища (далее ПИВР), не отвечает в полной мере современным запросам на водные ресурсы. И здесь возникает достаточно распространенная водохозяйственная проблема – перераспределение гарантированных водных ресурсов существующего водохранилища – обратная задача водохозяйственных расчетов, осложненная многолетним режимом регулирования.

В качестве альтернативных проектировщиками рассматривались два варианта «Энергетический» и «Рыбохозяйственный». Предпочтение отдано «Рыбохозяйственному» варианту.

Автором статьи в свое время выполнялась экспертиза новой редакции ПИВР.Некоторые принципиальные замечания рассматриваются ниже с целью акцентировать внимание на методических моментах:

1. «Изложенная … методика … требует **анализа однородности и репрезентативности расчетного гидрологического ряда»**. «Расчеты максимального стока выполнены на той же методической платформе, что и годовой сток, поэтому замечания те же. Методика определения максимального стока и максимальных расходов не прописана в представленных материалах, ссылки отсутствуют. …».

При обновлении или переработке ПИВР [2] первостепенное значение имеет уточнение гидрологической информации, то есть детальный анализ гидрологических наблюдений за весь период наблюдений за стоком. Часто встречающийся в ПИВР взгляд, что чем больше принят расчетный гидрологический ряд, тем надежнее результат, абсолютно ошибочен. Необходима профессиональная оценка однородности и репрезентативности.

2. «Отсутствует оценка **минимального стока.** Хотя в МУП это требование не содержится, статистическая оценка минимальных расходов необходима для назначения санитарно-экологических попусков. … Обоснования санитарных и рыбохозяйственных попусков нет, фигурирует цифра 18,7 м^3/с, связанная с техническими ограничениями по работе водозаборов …».

Разница в объемах расчетных целевых попусков и комплексного попуска принципиально влияет на величину гарантированной отдачи водохранилищ, а в прямой задаче водохозяйственных расчетов – на параметры водохранилищ.

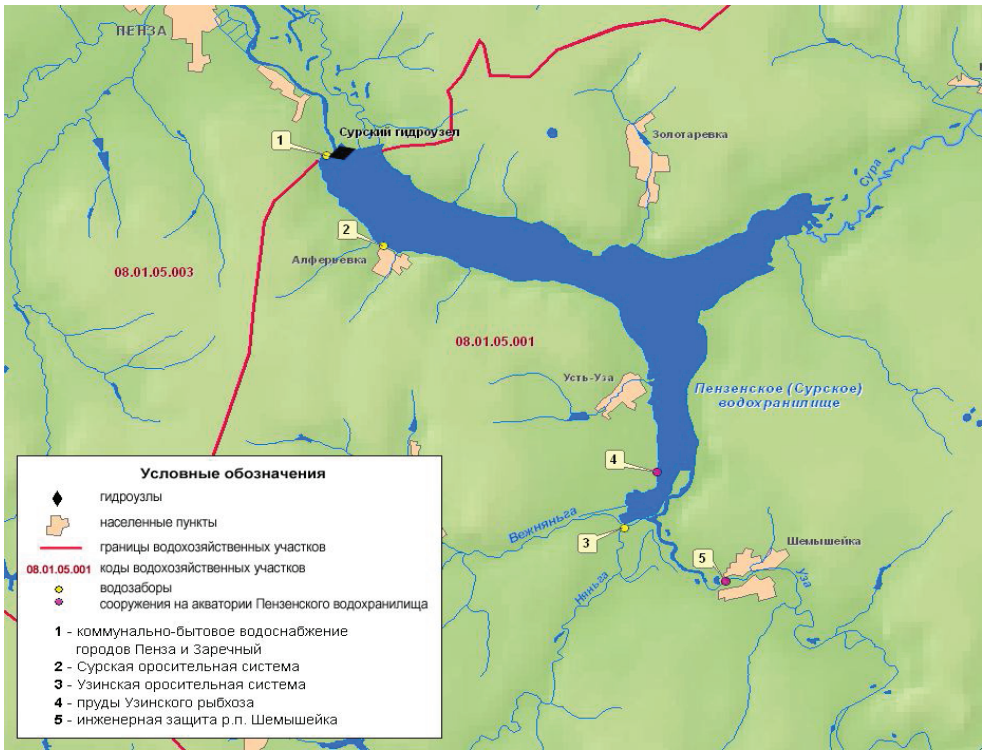

Рис. 3. **Схема компоновки Пензенского водохранилища, образованного Сурским гидроузлом**

Постановка задачи и методы исследований. В многолетнем регулировании стока важную роль играет этап предварительной экспертной оценки. Определяющими, с одной стороны, являются параметры речного стока (главным образом норма стока и коэффициент вариации), с другой стороны – специфика водопользования и критерии удовлетворения требований (обеспеченность покрытия, ограничения по урезке требований…) [3, 4]. Далее представлены материалы исследования связи названных факторов с требуемым полезным объемом водохранилищ в простейшей схеме независимого регулирования. В исследованиях использованы имеющиеся номограммы связи многолетней составляющей емкости водохранилищ от гидрологических характеристик (1) и расчеты полезного объема по многолетним искусственным рядам стока с помощью специальной программы для водохозяйственных расчетов обобщенным методом[5].

Результаты исследований. Проведены массовые расчеты по указанной выше методике и получены сечения номограмм

$$\beta = f(a, C_v, r_a, p): \beta = f(C_v)$$ при обеспеченности

$$P = 90\%;\ a = 0{,}7\text{-}0{,}9;\ r_a = 0{,}3;\ C_s = 2\,C_v$$

A – относительная гарантированная отдача водохранилища; C_v – коэффициент вариации годового стока; r_a – коэффициент автокорреляции годового стока; P – обеспеченность покрытия; $K_д$ – средняя интенсивность прироста объема водохранилища

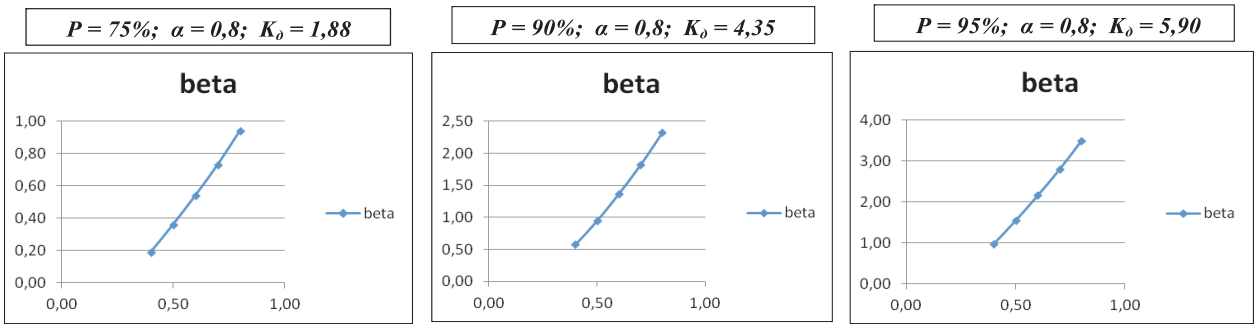

Рис. 4. **Ветви традиционных номограмм при фиксированных значениях отдачи**

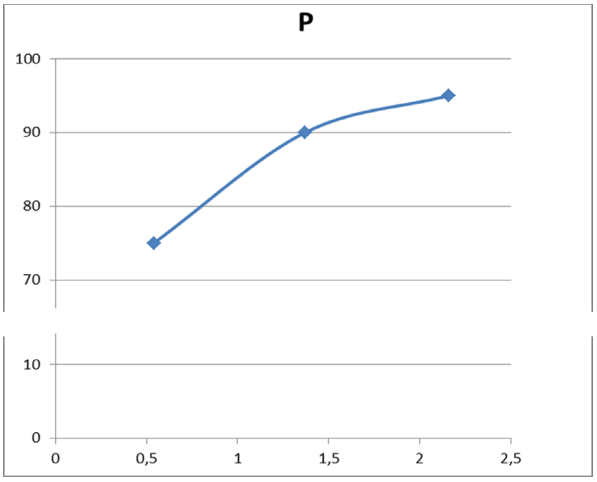

Рис. 5. **Сечение номограмм при $\alpha = 0,8$; $C_V = 0,6$**

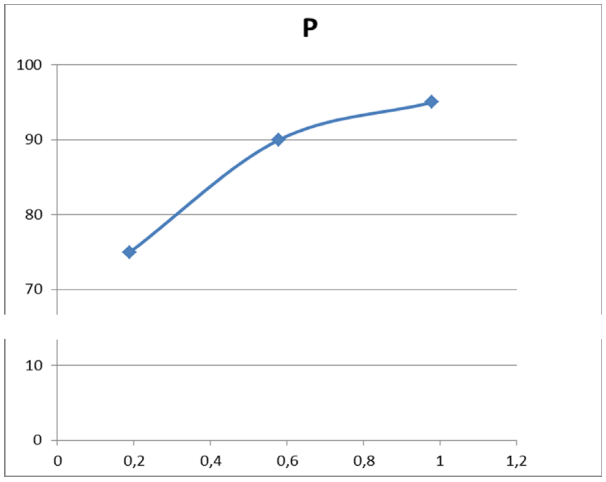

Рис. 6. **Сечение номограмм при $\alpha = 0,8$; $C_V = 0,4$**

Заключение

Анализ водообеспеченности водохозяйственной системы в условиях многолетнего регулирования должен выполняться в следующей последовательности:

1. Обоснование гидрологической информации – основных гидрологических характеристик и многолетних рядов стока с учетом однородности, и репрезентативности.

2. Назначение проектной схемы водохозяйственной системы (ВХС) или нескольких схем, гарантирующих решение проектных водохозяйственных задач.

3. Формализация параметров системы и назначение критериев удовлетворения требований к водным ресурсам с учетом санитарно-экологических требований к водным ресурсам.

4. Получение экспертной оценки водохозяйственного и экономического эффекта реализации проектных решений на основании анализа гидрологических данных и водохозяйственных расчетов по обобщенным параметрам стока и водопотребления.

5. Разработка сценариев развития водопотребления в рамках принятой концепции развития водохозяйственного комплекса.

6. Разработка имитационной модели функционирования ВХС.

7. Анализ результатов.

Библиографический список

1. **Раткович Л.Д., Бовина Ю.А.** Трансграничное водопользование в бассейне реки Иртыш. // Международный технико-экономический журнал, природообустройство. Экология ecologyscience. – 2017. – № 3. – С. 81-87.

2. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ (приказ МПР РФ от 26 января 2011 года N17).www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074575/

3. **Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Глазунова И.В.** Особенности методологии комплексного водопользования. – М: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 116 с.

4. **Раткович Л.Д., Маркин В.Н., Глазунова И.В.** Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем. – М.: ФГБОУ **ВПО МГУП,** 2013. – 258 с.

5. **Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Методические основы водохозяйственных расчетов при проектировании водохозяйственных систем. Учебное пособие. – М.: МГУП, 2001. – 114 с.

Материал поступил в редакцию 01.03.2019 г.

Сведения об авторах

Раткович Лев Данилович, профессор, канд. тех. наук, профессор кафедры

комплексного использования водных ресурсов и гидравлики, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19; e-mail: levkivr@mail.ru

Сафонова Надежда Владимировна, студентка ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19.

Агеев Даниил Владимирович, студент ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19.

L.D. RATKOVICH, N.V. SAFONOVA, D.V. AGEEV
Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

HIGHER WATER SUPPLY OF INTEGRATED WATER USE UNDER THE CONDITIONS OF LONG-TERM REGULATION OF RIVER FLOW

The article considers the factors of water supply increase under the conditions of the long-term river flow regulation. Two water management systems are taken as objects of research: the Penza reservoir in Russia and the water management system of the Medgerda river in Algeria. The structure of water use in the named river basins is analyzed and the sequence of justifying water management calculations for the implementation of water management projects is given. In order to assess the influence of the coefficient of variation of annual flow on the size of the useful volume of reservoirs, classical nomograms are studied and a series of calculations on the simulation model is carried out. For the Mejerda basin several options are presented for the regulation and redistribution of water resources between reservoirs taking into account the sanitary and environmental requirements in the transboundary site. The most significant drawbacks of water resources management rules are analyzed by the example of the Penza reservoir. The necessity to analyze the representativeness and homogeneity of hydrological series used in water management calculations is substantiated. The sequence of the analysis of water supply of water management systems under the conditions of the long-term regulation of drain, from justification of hydrological information before the analysis of results is given. The private functions of the reservoir volume from the probability of water consumption coverage are constructed. The values of the intensity of the reservoir volume increase depending on the coefficient of variation at a fixed value of autocorrelation are calculated.

Water management system, water management complex, long-term flow regulation, reservoir volume, generalized parameters of flow and water consumption, flow regulation, nomograms to determine the reservoir volume, coefficient of variation, autocorrelation coefficient, simulation water management model.

References

1. **Ratkovich L.D., Bovina Yu.A.** Transgranichnoe vodopolzovanie v bassejne reki Irtysh. Mezhdunarodnyj tehniko-ekonomicheskij zhurnal, prirodoobustrojstvo. Ekologiya, № 3 2017, s. 81-87

2. Metodologicheskie ukazaniya po razrabotke pravil ispoljzovaniya vodohranilishch (Prikaz MPR RF ot 26 yanvarya 2011 goda N17). www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074575/

3. **Markin V.N., Ratkovich L.D., Glazunova I.V.** Osobennosti metodologii kompleksnogo vodopolzovaniya. Min-vo selskogo hoz-va Rossijskoj Federatsii, RGAU-MSHA imeni K.A. Timiryazeva. – Moskva: Izd-vo RGAU-MSHA, 2016. – 116 s.: il.; 21 sm.; ISBN978-5-9675-1436-4

4. **Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V.** Voprosy ratsionalnogo ispolzovaniya vodnyh resursov i proektnogo obosnovaniya vodohozyajstvennyh sistem. FGBOU VPO MGUP, 2013, 258 s., ISBN978-5-89231-415-2

5. **Ratkovich L.D., Sokolova S.A.** Metodicheskie osnovy vodohozyajstvennyh raschetov pri proektirovanii vodohozyajstvennyh sistem – Uchebnoe posobie. M.: MGUP, 2001, 114 s., LR № 020360 ot 13.02.1998 g.

The material was received at the editorial office 01.03.2019 g.

Information about the authors

Ratkovich Lev Danilovich, professor, candidate of technical sciences, professor of the department of complex use of water resources and hydraulics. FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d. 19; e-mail: levkivr@mail.ru

Safonova Nadezhda Vladimirovna, student of FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d. 19.

Ageev Daniil Vladimirovich, student of FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d. 19.