

Оригинальная статья

УДК 502/504: 551.48: 627.81:627.15

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-100-106

## СЛОЖНЫЕ ВОДНО-РЕСУРСНЫЕ СИСТЕМЫ. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, НАДЕЖНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**КЛЁПОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ**, д-р техн. наук, профессор

viklepov@rambler.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Прянишникова, 19. Россия

*Водно-ресурсные системы стали такой же реальностью, как электроэнергетические, транспортные, системы связи и другие большие техногенные системы. Понятие «водно-ресурсные системы» (ВРС) относится прежде всего к гидравлически связанной совокупности источников и средств управления и доставки водных ресурсов водопотребителям и водопользователям. Мировой опыт показывает, что самые крупные ВРС используют в качестве источников водных ресурсов речной сток. Однако, как показали наши исследования, будущее остается за ВРС, которые основываются на совместном управлении ресурсами поверхностных и подземных вод. Несмотря на значительное сходство в процессах создания и управления большими техногенными системами, ВРС имеют ряд особенностей, требующих решения специфических проблем. Прежде всего стратегия развития и управления ВРС должна учитывать изменчивость речного стока, а также то, что эти системы являются одним из важнейших элементов окружающей среды. Именно эти факторы лежат в основе решения проблемы гарантированной отдачи ВРС и надежности функционирования этих систем на базе расчетной обеспеченности их гарантированной водоотдачи. При этом гарантированная отдача – это и надежное водообеспечение социально-экономической сферы и гарантированное удовлетворение экологических требований, что является одним из принципов устойчивого развития экономики.*

**Ключевые слова:** гидрология, речной сток, водохранилища, системы водохранилищ, регулирование речного стока, величина и обеспеченность гарантированной водоотдачи, дефицит гарантированной водоотдачи, качество водных ресурсов

**Формат цитирования:** Клёпов В.И. Сложные водно-ресурсные системы. Особенности функционирования, надежность и экологическая безопасность // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 100-106. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-100-106.

© Клёпов В.И., 2021

Original article

## COMPLEX WATER-RESOURCE SYSTEMS. FEATURES OF OPERATION, RELIABILITY AND ENVIRONMENTAL SAFETY

**KLEPOV VLADIMIR ILYICH**, doctor of technical sciences, associate professor

viklepov@rambler.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

*Water-resource systems have become as much a reality as electric power, transport, communication systems and other large man-made systems. The concept of water resource systems (WRS) refers primarily to a hydraulically connected set of sources and means of managing and delivering water resources to water consumers and water users. The world experience shows that the largest WRS use river runoff as a source of water resources; however, as our research has shown, the future belongs to WRS which are based on the joint management of surface and underground water resources. Despite the significant similarity in the processes of creating and managing large man-made systems, WRS have a number of features that require solving specific problems. First of all, the strategy for the development and management of WRS should take into account the variability*

of river flow, as well as the fact that these systems are one of the most important elements of the environment. It is these factors that underlie the solution of the problem of the WRS guaranteed output and the reliability of the functioning of these systems on the basis of the calculated availability of their guaranteed to the socio-economic sphere and guaranteed satisfaction of the environmental requirements which is one of the principles of sustainable economic development.

**Keywords:** hydrology, river flow, reservoirs, reservoir systems, regulation of river flow, amount and availability of guaranteed water output, deficit of guaranteed water output, quality of water resources

**Format of citation:** Klepov V.I. Complex water-resource systems. Features of operation, reliability and environmental safety // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 1. – S. 100-106. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-100-106.

**Введение.** Исследования по решению проблемы надежности ВРС были начаты в нашей стране с обоснования расчетной обеспеченности гарантированной отдачи гидроэлектростанций (ГЭС), которые, как правило, являются основополагающими элементами современных ВРС [1-3].

В результате многолетних исследований были обоснованы показатели расчетной обеспеченности гарантированной водоотдачи водохранилищ, входящих в состав ВРС в зависимости от основных экономических и гидрологических условий. Один из фундаментальных выводов этих исследований заключается в том, что увеличение регулирующей способности водохранилищ приводит к повышению требований к гарантированной отдаче, что определяется гидрологическими закономерностями речного стока и экономической оценкой возможного дефицита водных ресурсов в маловодные периоды. Результаты этих исследований лежат в основе современных методов исследования и обоснования гарантированной отдачи водохранилищ. Методические основы обоснования расчетной обеспеченности в дальнейшем удалось обобщить на более общий случай многоцелевого использования водных ресурсов.

В России, как и во многих других странах, успешно действуют большие водно-ресурсные системы в виде каскадов на реках Волга, Кама, Енисей, Ангара, предназначенные в первую очередь для выработки гидроэнергии. Функционируют и другие аналогичные системы в бассейнах рек, предназначенные для водообеспечения крупных регионов, – например, Московского и Уральского.

В целом аналогичные водно-ресурсные системы используются для требований многих отраслей хозяйства: питьевого водоснабжения, коммунально-бытового водоснабжения, сельского хозяйства, энергетики, речного транспорта и т.д. В современных условиях эти системы

играют большую роль в экологии, а именно в охране водных ресурсов от истощения, в целях отдыха населения (рекреации, рыбного хозяйства) и др. Следовательно, современные водно-ресурсные системы представляют собой комбинированные природно-технические системы, среди важнейших характеристик которых следует выделить гарантированную водоотдачу и степень ее бесперебойного удовлетворения – расчетную обеспеченность.

#### **Методы и материалы исследования.**

Речной сток следует считать главным поставщиком как пресной, так и питьевой воды. Известно, что он распределен достаточно неравномерно как по территории суши, так и внутри годового цикла и многолетнего периода. Внутригодовая неравномерность стока может быть устранена его регулированием с помощью одиночных водохранилищ. Пространственная изменчивость выравнивается, в частности, объединением отдельных водохранилищ в системы водохранилищ или в частный случай такой системы – в каскад водохранилищ. Обычно это позволяет увеличить гарантированную водоотдачу естественных водотоков и вместе с тем повысить обеспеченность (надежность) такой отдачи.

Выявление оптимального порядка управления водными ресурсами больших водно-ресурсных систем представляет собой одну из важнейших задач теории регулирования речного стока. Такие исследования выполняются в условиях стохастического характера исходной для анализа гидрологической информации. Могут быть рассмотрены несколько вариантов решения такой задачи.

Часто используется метод привлечения воды из-за пределов системы. В этом случае сезонная и пространственная неравномерность речного стока может быть сглажена подачей воды из речных бассейнов, имеющих избыточные водные запасы. Очевидно, что в этом случае требуется создание новых,

регулирующих речной сток водохранилищ, а также строительство каналов, насосных станций и других гидротехнических сооружений. Очевидно, что это достаточно затратное в финансовом смысле мероприятие.

В общем случае увеличение имеющихся запасов пресной воды при ее недостатке возможно, помимо речного стока, опреснением морских вод, привлечением подземных водных ресурсов, запасов воды, сосредоточенных в ледниках и вечных снегах. Рассматривалось пополнение водных ресурсов за счет искусственного осаднения атмосферных осадков, а также таких достаточно экзотических способов, как транспортировка айсбергов из Антарктики и последующая переработка воды в твердом состоянии в питьевую воду. Такие мероприятия в недалеком прошлом могли себе позволить некоторые арабские страны, но и в этом случае эффект переработки воды оказался слишком затратным и малоэффективным.

Очевидно, что возможность и экономическая целесообразность управления поверхностными водными ресурсами посредством описанных выше мероприятий требуют дальнейшего исследования.

**Результаты и обсуждение.** Таким образом, водохранилища и образованные на их основе водно-ресурсные системы следует считать в настоящее время и в обозримом будущем основным управляющим средством воздействия на устранение территориальной и внутригодовой неравномерности речного стока. Водоохранилища и связи между ними являются основным звеном при создании и функционировании сложных водно-ресурсных систем, предназначенных для технологически надежного и экологически безопасного взаимодействия основных частей ВРС.

*Проблема управления* функционированием водохранилищ заключается в решении двух взаимозависимых задач. Первая задача – разработка длительных режимов работы водохранилищ, когда для всего цикла регулирования находятся как режим сработки и наполнения водохранилища, так и величины попусков воды в нижние бьефы. На основании таких расчетов регламентируются наличные водные ресурсы. Будут определены ограничения по речному стоку за многолетие. Вторая задача – оптимизация краткосрочных режимов, или определение наиболее выгодного режима работы водохранилищ в суточном, недельном или месячном периодах оптимизации.

К настоящему времени разработаны различные методы управления режимом

функционирования водохранилищ и водно-ресурсных систем: последовательной корректировки, адаптации, управляющих полиномов, приоритетов, диспетчерских правил и др. Общее решение задачи управления водными ресурсами с помощью водохранилищ теоретически возможно либо аналитически, решением уравнений, определяющих зависимость гарантированной водоотдачи водохранилища от водности, уровня воды, времени или других параметров, либо обобщением тем или иным образом оптимальных режимов работы системы, которые найдены при различной исходной гидрологической информации. Следует отметить, что именно приемы обобщения оптимальных режимов функционирования водохранилищ в правила управления получили практическое применение: например, диспетчерские правила.

Некоторые перечисленные выше методы управления функционированием водохранилищ не нашли широкого практического применения в силу большой размерности алгоритма управления или существенной неопределенности исходной гидрологической информации. Известно, что другие используются: в большей степени – метод диспетчерского управления, в меньшей степени – имитации и оптимизации или метод приоритетов. Это относится как к научным исследованиям, так и к практическому применению.

Следует, однако, признать, что ввиду несовершенства экономических характеристик водопользования, и прежде всего – по причине отсутствия надежных данных об ущербе пользователям в результате дефицита водных ресурсов в периоды маловодья – даже самые строгие математические модели могут приводить к некорректным решениям. Это обстоятельство позволяет перейти к исследованию функционирования ВРС так же, как и к обоснованию их параметров посредством имитационных математических моделей. Рассмотрим это положение на примере сложной и разветвленной водно-ресурсной системы водообеспечения Московского региона и некоторых направлений исследования на имитационной модели этой системы и отдельных ее частей [4-8].

*Имитационная модель водно-ресурсной системы Московского региона.* Обеспечение водой Московского региона, и прежде всего наиболее густонаселенной части этого региона г. Москвы, в современных условиях осуществляется за счет стока рек Волги, Вазузы и Москвы-реки. В качестве естественных водных ресурсов, используемых при изучении

данной территории, рассматривается речной сток трех рек и их притоков, а именно: р. Волги от истока до створа Ивановского гидроузла, сток р. Вазузы – правого притока р. Волги, большая часть стока которой используется его подачей по гидротехническим сооружениям в бассейн Москвы-реки, собственно сток Москвы-реки и ее основных притоков от истока до водозабора Рублевского гидроузла. Площадь водосбора данной водно-ресурсной системы составляет 55900 км<sup>2</sup>, суммарная водность рек, отнесенная к основным створам гидроузлов системы, составляет 340 м<sup>3</sup>/с, или 10,7 км<sup>3</sup> в среднем за многолетие.

На рисунке 1 представлена схема Москворецкой водной системы – одной из частей водно-ресурсной системы водообеспечения Московского региона.

При управлении водными ресурсами аналогичной водно-ресурсной системы важно исследовать возможные режимы ее функционирования в условиях тех или иных структурных ограничений и изменений. Эта ВРС состоит из большого числа водохранилищ, каналов, насосных станций и других вспомогательных гидротехнических сооружений. Следует заметить, что, кроме многообразия собственно вариантов водоподдачи, данная

система отличается существенной сложностью по режиму ее функционирования.

В таблице представлены основные гидрологические характеристики рек региона, привязанные к створам гидроузлов. Эти гидрологические данные являются одними из основных при проведении комплекса гидрологических и водохозяйственных расчетов с целью выявления особенностей функционирования системы и обоснования величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи.

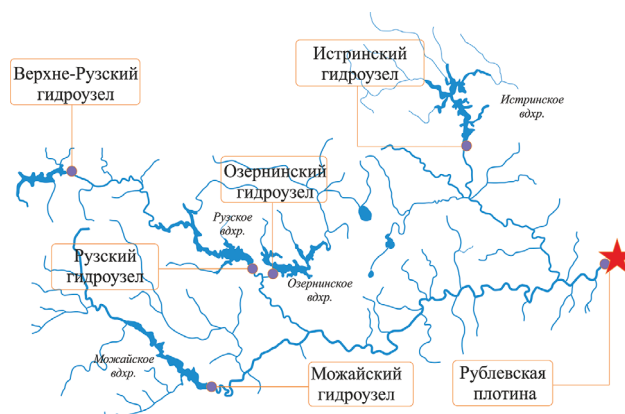


Рис. 1. Схема Москворецкой водной системы

Fig. 1. Scheme of the Moskvoletsy water system

Таблица  
Основные гидрологические характеристики водно-ресурсной системы  
Московского региона

Table  
Main hydrological characteristics of the water-resource system of the Moscow region

Река <i>River</i>	Гидроузел <i>Hydraulic unit</i>	Длина реки, км <i>Length of the river, km</i>	Расстояние от устья, км <i>Distance from the mouth, km</i>	Площадь водосбора, км <sup>2</sup> <i>Water catchment area, km<sup>2</sup></i>	Характеристика среднегогодового стока <i>Characteristics of the average long-term flow</i>		
					Q, м <sup>3</sup> /с / Q, m <sup>3</sup> /s	W, км <sup>3</sup> / W, km <sup>3</sup>	Cv
Волга <i>Volga</i>	Верхневолжский <i>Verhnevolzhsky</i>	106	3425	3500	26,5	0,84	0,34
Волга <i>Volga</i>	Иваньковский <i>Ivankovsky</i>	560	2971	41000	255	8,04	0,26
Истра <i>Istra</i>	Истринский <i>Istrinsky</i>	52	61	1010	6,2	0,20	0,25
Москва <i>Moskva</i>	Можайский <i>Mozhaisky</i>	94	379	1360	9,3	0,29	0,29
Руза <i>Ruza</i>	Рузский <i>Ruzsky</i>	113	32	1150	7,5	0,24	0,29
Озерна <i>Ozerna</i>	Озернинский <i>Ozerninsky</i>	57	2	740	4,8	0,15	0,25
Москва <i>Moskva</i>	Москва <i>Moskva</i>	248	225	8530	45,7	1,44	0,25
Вазуза <i>Vazuza</i>	Вазузский <i>Vazuzsky</i>	157	5	6400	39,2	1,24	0,30
Яуза <i>Yauza</i>	Яузский <i>Yauzsky</i>	50	27	440	3,5	0,11	0,33



На рисунке 2 представлена схема функционирования ВРС Московского региона в терминах имитационной модели. Треугольниками на данной схеме представлены водохранилища, прямыми линиями – направления движения воды от водохранилища к водохранилищу. Кругом с номером 9 обозначен главный пользователь воды в данной ВРС – г. Москва.

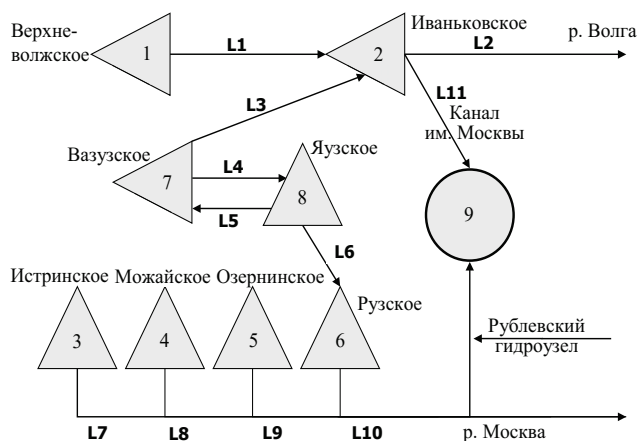


Рис. 2. Схема функционирования ВРС Московского региона

Fig. 2. Scheme of WRS functioning of the Moscow region

*Совместное использование поверхностных и подземных вод.* Кроме задачи определения величины и обеспеченности гарантированной водоотдачи водно-ресурсной системы, с помощью данной модели можно решать и иные задачи, направленные на повышение надежности ее функционирования. К таким задачам следует отнести как совместное использование поверхностного и подземного стока в условиях маловодного периода, так и совместное управление количеством и качеством водных ресурсов.

Под совместным управлением режимом и качеством водных ресурсов Московского региона следует понимать такое перераспределение водных ресурсов в пространстве и времени, которое позволяет, во-первых, сохранить гарантированный уровень обеспеченности всех участников водохозяйственного комплекса этого региона с учетом безопасности населения и защиты окружающей среды от водной стихии; во-вторых, восстанавливать природное воспроизводство водных ресурсов в количественном и качественном аспектах.

В качестве примера совместного использования поверхностного и подземного стоков можно привести возможность повышения надежности в маловодных условиях уровня водообеспечения Московского региона,

и прежде всего – г. Москвы [9, 10]. Кроме того, данный метод был применен при решении задачи повышения водообеспеченности г. Подольска Московской области [11, 12].

*Обводнительные попуски как средство улучшения экологического состояния реки.* Анализ источников литературы показывает, что к настоящему времени не разработаны единые методические подходы к оценке допустимых объемов обводнительных попусков в естественные водные объекты и в нижние бьефы водохранилищ. Отсутствует и единообразие в определениях и терминах. Нет общепринятого толкования характеристик стока, оставляемых ниже регулирующих створов и характеристик изъятия водных ресурсов.

Отечественными авторами понятие обводняемых попусков в нижние бьефы гидроузлов трактуется по-разному, а именно: минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, рыбохозяйственные попуски, сельскохозяйственные попуски, транспортные попуски, санитарные попуски. Иными словами, они имеют преимущественно целевое отраслевое назначение. Более подробно данная тема рассмотрена в работах [13-16].

Функционирование экосистем водохранилищ и с этим тесно связанное качество воды в них во многом определяются как стратегическими параметрами (полный и полезный объем водохранилища, его характерные уровни, высота плотины и т.д.), так и режимными параметрами водохранилищ (гарантированная водоотдача, размеры попусков в нижние бьефы, правила управления). Показано, что в водохранилищах есть возможность целенаправленного управления интенсивностью и направленностью внутриводоемных процессов посредством регулирования поступления и сброса воды в водохранилищах. Это бывает практически затруднительно или вообще невозможно в естественных водоемах. Используя существующие связи между стратегическими и тактическими параметрами и параметрами внутриводоемных процессов, можно обеспечить совместное управление режимом и качеством водных ресурсов, что относится и к круговороту массообмена в экосистеме водохранилища, и подойти к достижению важнейшей цели современной гидроэкологии: управлению не только количеством, но и качеством воды в водохранилищах.

## Выводы

1. Как показывают выполненные исследования, водохранилища и группы водохранилищ, объединенные в водно-ресурсные

системы, следует считать основным управляющим средством воздействия на устранение территориальной и внутригодовой неравномерности речного стока. Кроме того, водохранилища являются основным звеном при создании и функционировании сложных водно-ресурсных систем, предназначенных для технологически надежного и экологически безопасного взаимодействия основных частей ВРС.

2. Разработанные и внедренные в практику управления водно-ресурсными системами имитационные модели позволяют решать наиболее актуальные в настоящее

время и в ближайшем будущем проблемы водохозяйственной надежности ВРС и их экономической и экологической безопасности как в научном, так и в практическом планах. Такие модели постоянно развивались и совершенствовались. В современных условиях для анализа функционирования ВРС используется имитационная модель, которая позволяет получать на выходе статистические водохозяйственные характеристики (величина и обеспеченность гарантированной водоотдачи, изменение уровней воды, холостые сбросы, экологические попуски и т.д.).

### Библиографический список

1. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Водохозяйственные расчеты. – Л.: Гидрометеоздат, 1952. – 392 с.
2. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
3. Проблемы надежности при многоцелевом использовании водных ресурсов. – М.: Наука, 1994. – 225 с.
4. **Великанов А.Л., Клёпов В.И.** Определение гарантированной водоотдачи системы водохранилищ для водоснабжения // Гидротехническое строительство. – 1983. – № 9. – С. 15-18.
5. **Клёпов В.И.** О гарантированной водоотдаче Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. – 1990. – № 5. – С. 143-151.
6. **Великанов А.Л., Клёпов В.И.** Некоторые особенности экологического ущерба при вынужденном сокращении гарантированной отдачи водно-ресурсной системы // Мат-лы Всесоюзной конф. «Методология экологического нормирования». – Харьков, 1990. – С. 36-39.
7. **Клёпов В.И.** Исследование функционирования ВХС водообеспечения Москвы: учет и ограничение экологических последствий создания и эксплуатации // Чистота воды столиц мира – контроль за качеством воды в Москве и Париже: Мат-лы Советско-французского симпозиума. – М.: 1991. – С. 30-34.
8. Развитие внешних источников водообеспечения Москвы. Схема. «Водохозяйственные балансы Москвы и прилегающих районов». – М.: Гидропроект, 1984. – 184 с.
9. **Великанов А.Л., Клёпов В.И., Минкин Е.Л.** Совместное использование поверхностных и подземных вод в Московской агломерации как способ снижения

### References

1. **Kritsky S.N., Menkel M.F.** Vodohozyajstvennyye raschety. – L.: Gidrometeoizdat, 1952. – 392 s.
2. **Kritsky S.N., Menkel M.F.** Hidrologicheskie osnovy upravleniya vodohozyajstvennymi sistemami. – M.: Nauka. 1982. – 271 s.
3. Problemy nadezhnosti pri mnogotselevom ispolzovanii vodnyh resursov. – M.: Nauka, 1994. – 225 s.
4. **Velikanov A.L., Klepov V.I.** Opredelenie garantirovannoj vodootdachi sistemy vodohranilishch dlya vodosnabzheniya // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 1983. – № 9. – S. 15-18.
5. **Klepov V.I.** O garantirovannoj vodootdache Ivankovskogo vodohranilishcha // Vodnye resursy. – 1990. – № 5. – S. 143-151.
6. **Velikanov A.L., Klepov V.I.** Nekotorye osobennosti ekologicheskogo ushcherba pri vynuzhdennom sokrashchenii garantirovannoj otdachi vodno-resursnoj sistemy / Vsesoyuznaya konf. "Metodologiya ekologicheskogo normirovaniya". – Kharkov: 1990. – S. 36-39.
7. **Klepov V.I.** Issledovanie funktsionirovaniya VHS vodoobespecheniya Moskvy: uchet i ogranichenie ekologicheskikh posledstvij sozdaniya i ekspluatatsii / Sovetsko-frantsuzskij simpozium "Chistota vody stolits mira – control za kachestvom vody v Moskve i Parizhe". – M.: 1991. – S. 30-34.
8. Razvitie vneshnih istochnikov vodoobespecheniya Moskvy. Skhema. Vodohozyajstvennyye balansy Moskvy i prilgayushchih rajonov. – M.: Gidroproekt, 1984. – 184 s.
9. **Velikanov A.L., Klepov V.I., Minkin E.L.** Sovmestnoe ispolzovanie poverhnostnyh i podzemnyh vod v Moskovskoy aglomeratsii rfr sposob snizheniya otritsatel'nogo vliyeniya na okruzhayushchuyu sredu / Mezhdun. nauchnaya konf. "II SNG – SSHA simpozium

отрицательного влияния на окружающую среду // Мат-лы Международной научной конф. «II симпозиум СНГ – США по гидрологическим и гидрогеологическим проблемам охраны окружающей среды». – Вашингтон: 1993. – С. 49-52.

10. **Великанов А.Л., Клёпов В.И., Минкин Е.Л.** Совместное использование поверхностных и подземных вод в Московском регионе при современных экологических требованиях // Водные ресурсы. – 1994. – № 6. – С. 711-714.

11. **Клёпов В.И., Уманский П.М.** Совместное использование поверхностного и подземного стока для регулирования Подольского водохранилища // 175 лет К.А. Тимирязеву: Доклады ТСХА. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2019. – Вып. 291. – Ч. 3. – С. 97-102.

12. **Клёпов В.И., Уманский П.М.** О гидрологических основах совместного использования поверхностных и подземных вод в бассейне реки Пахры // Природообустройство. – 2019. – № 3 – С. 104-110.

13. **Клёпов В.И.** Соотношение количества и качества водных ресурсов при управлении водохозяйственными системами // Природообустройство. – 2020. – № 1. – С. 94-99.

14. **Клёпов В.И., Рагулина И.В.** Обводнительные попуски в Московском регионе как элемент водохозяйственного баланса территории // Использование и охрана природных ресурсов в России: Бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 11-16.

15. **Клёпов В.И., Рагулина И.В.** Перечень обводняемых объектов и рациональный объем обводнения в бассейне реки Москвы // Мат-лы Международного научного форума «Проблемы управления водными и земельными ресурсами». – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – С. 76-84.

16. **Клёпов В.И., Рагулина И.В.** Оценка качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москва // Природообустройство. – 2017. – № 3. – С. 14-21.

#### Критерии авторства

Клёпов В.И. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 04.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 16.02.2021 г.

Принята к публикации 26.02.2021 г.

po gidrologicheskim i gidrogeologicheskim problemam ohrany okruzhayushchej sredy“. – Vashington: 1993. – S. 49-52.

10. **Velikanov A.L., Klepov V.I., Minkin E.L.** Sovmestnoe ispolzovanie poverhnostnyh i podzemnyh vod v Moskovskom regione pri sovremennyh ekologicheskikh trebovaniyah // Vodnye resursy. – 1994. – № 6. – S. 711-714.

11. **Klepov V.I., Umansky P.M.** Sovmestnoe ispolzovanie poverhnostnogo i podzemnogo stoka dlya regulirovaniya Podolskogo vodohranilishcha / Doklady TSHA: Sb. statej 175 let C.A. Timiryazevu. Vyp. 291. Ch 3. – M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2019. – S. 97-102.

12. **Klepov V.I., Umansky P.M.** O gidrologicheskikh osnovah sovmenstnogo ispolzovaniya poverhnostnyh i podzemnyh vod v bassejne reki Pahry [Tekst] / V.I. Klepov, P.M. Umansky // Prirodoobustrojstvo. – 2019. – № 3 – S. 104-110.

13. **Klepov V.I.** Sootnoshenie kolichestva i kachestva vodnyh resursov pri upravlenii vodohozyajstvennymi sistemami // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 1. – S. 94-99.

14. **Klepov V.I., Ragulina I.V.** Obvodnitelnye popuski v Moskovskom regione kak element vodohozyajstvennogo balansa territorii // Byulleten "Isolzovanie i ohrana prirodnyh resursov v Rossii". – 2015. – № 2. – S. 11-16.

15. **Klepov V.I., Ragulina I.V.** Perechen obvodnyaemyh objektov i ratsionalny objem obvodneniya v bassejne reki Moskvy / Mat-ly Mezhdun. nauchnogo foruma "Problemy upravleniya vodnymi i zemelnymi resursami". – M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. – S. 76-84.

16. **Klepov V.I., Ragulina I.V.** Otsenka kachestva vodnyh resursov v verhnej chasti reki Moskva // "Prirodoobustrojstvo". – 2017. – № 3. – S. 14-21.

#### Authorship criteria

Klepov V.I. performed theoretical studies, on the basis of which he conducted a generalization and wrote the manuscript, has a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 04.02.2021

Approved after reviewing 16.02.2021

Accepted for publication 26.02.2021