

Повышение эффективности эксплуатационных мероприятий по снижению захвата наносов в водозаборы оросительных систем

Т.В. Наумова¹, А.М. Кушер¹, И.Ф. Пикалова^{2,3}

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова); г. Москва, Россия;*

^{2,3} *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия;*

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены эксплуатационные мероприятия регулирования русловых процессов в верхнем бьефе низконапорных фронтальных водозаборных узлов, расположенных на реках с обильными наносами. Разработан метод целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений, дополнительно к проведению глубоких гидравлических промывок, позволяющий сократить объемы заиления каналов оросительной системы и значительно снизить затраты на механическую очистку. Дан анализ проблем реализации на практике гидравлических методов снижения захвата наносов в водозаборы и необходимости перехода на современный технологический уровень управления оросительными системами. Проанализирован зарубежный опыт модернизации управления оросительными системами на основе принципа интеграции и активизации заинтересованных сторон в процессе принятия решений.

Материалы и методы. Изучение гидравлических методов воздействия на русловые процессы при эксплуатации водозаборных узлов осуществлялось на физических размываемых моделях (крупномасштабной и фрагментной). При проведении натурных исследований параллельно с гидравлическими анализировались хозяйственные ситуации.

Результаты. По результатам исследований на крупномасштабной полевой размываемой модели фронтального водозаборного узла разработана принципиальная схема создания зон искусственной циркуляции. Это позволяет перенаправить часть потока осадка от водозабора к открытым пролетам водосбросной плотины и снизить интенсивность заиления каналов. Получены зависимости объемов захвата наносов в водозабор от соотношения расходов воды, забираемых в магистральный канал и сбрасываемых через донные промывные галереи, которые позволяют проводить интерактивную корректировку графиков подачи воды сельхозпроизводителям в зависимости от гидрологических и климатических условий.

Выводы. Масштабы использования гидравлических методов и их эффективность зависят от использования при разработке эксплуатационных схем современных аналитических методов и цифровых технологий, а также от совершенствования нормативно-правовой базы и организационно-хозяйственного механизма управления оросительными системами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: заиление каналов, оросительные системы, фронтальный водозабор, регулирование руслового процесса, интегральное управление

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Наумова Т.В., Кушер А.М., Пикалова И.Ф. Повышение эффективности эксплуатационных мероприятий по снижению захвата наносов в водозаборы оросительных систем // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 9. С. 1167–1179. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1167-1179

Improving the efficiency of operational measures on reducing the sediment capture in the irrigation system water intake

Tatyana V. Naumova¹, Anatoliy M. Kusher¹, Irina F. Pikalova^{2,3}

¹ *All Russia Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov (VNIIGiM named by A.N. Kostyakov); Moscow, Russian Federation;*

^{2,3} *Russian State Agricultural University; Moscow, Russian Federation; Institute of reclamation, water management, and construction; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The article considers operational measures of channel process regulation in the headwater of low-pressure front water intake located on rivers with abundant sediment loads. In addition to deep hydraulic flushing, the study proposes the method of task-oriented handling of the watergate screens. It allows reducing the amount of irrigation system

channel siltation and significantly reducing the expenses for mechanical cleaning. An analysis of the problems of practical implementation of hydraulic methods to reduce the sediment capture in water intakes and the necessity of moving to the advanced technological level of irrigation system management is given. The international experience of irrigation system management modernization based on the principle of integration and activation of interested parties in the decision-making process is considered.

Materials and methods. The studies of hydraulic methods of impact on channel processes during the water intake operation were carried out on physical eroded models (large-scale one and fragmented one). When conducting field research, the article analyzed the economic situations in addition to the hydraulic studies.

Results. The research has developed a schematic diagram for the creation of artificial circulation zones, Based on the results of the research on a large-scale field eroded model of the frontal water intake. This makes it possible to redirect a part of the sediment flow from the water intake to the spillway dam open gates and reduce the channel siltation intensity. The dependences were obtained for the amount of sediment captured in the water intake on the ratio of water flow taken into the main channel and discharged through the bottom flushing galleries, which allow interactive schedule adjustment of water supply to agricultural producers depending on hydrological and climatic conditions.

Conclusions. The hydraulic methods usage scale and their efficiency depend on applying modern analytical methods and digital technologies in the development of operational patterns as well as on the improvement of the regulatory framework and the organizational and economic mechanism for the irrigation system management.

KEYWORDS: channel siltation, irrigation systems, front water intake, channel process regulation, integrated management

FOR CITATION: Naumova T.V., Kusher A.M., Pikalova I.F. Improving the efficiency of operational measures on reducing the sediment capture in the irrigation system water intake. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14:9:1167-1179. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1167-1179 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Большинство построенных или проектируемых крупных и средних плотинных водозаборных узлов оросительных систем (I–II классов) располагаются на реках с обильными наносами. В связи с этим особое значение приобретает регулирование русловых процессов в верхнем бьефе водозаборного узла для снижения объемов заиления каналов оросительной системы и выполнения требований бесперебойной и безаварийной подачи воды сельхозпроизводителям.

Борьба с заилением головных участков водозаборных сооружений и каналов оросительных систем всегда оставалась одной из основных проблем эксплуатации, что связано с высокими финансовыми затратами на механическую очистку каналов и верхних бьефов гидроузлов. В последние годы данная проблема еще более обострилась в связи с недостаточным финансированием технического обслуживания, к которому относится механическая очистка каналов от наносов¹. Это связано с тем, что остаются неурегулированными отношения между государственными водохозяйственными структурами и фермерскими хозяйствами² [1].

При проектировании и эксплуатации плотинных водозаборных узлов особенно важны правильная оценка русловых процессов и точный прогноз их хода развития после строительства. Они позволят обеспечить безаварийную и надежную подачу воды в оросительную систему. В статье рассматриваются только гидравлические методы снижения захвата наносов в водозаборные сооружения и не рассматриваются такие гидравлические методы, как транспортировка взвешенных наносов вместе с поливной водой на поля и промывка отложившихся наносов через коллекторно-дренажную систему.

После заиления и переформирования донных отложений в верхнем бьефе гидроузла, эффективность перехвата крупных фракций наносов водозаборными сооружениями существенно снижается [2]. Постепенное заиление и образование островов в верхнем бьефе, вследствие подпора и неравномерного перераспределения расходов взвешенного потока между водозаборным сооружением и щитовой водосбросной плотиной в различные периоды года (межень, паводок), приводит к увеличению скорости подхода потока в зоне водозаборного сооружения. Это способствует проникновению

¹ Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России на 2014–2020 годы. М. : Минсельхоз РФ, 2016. 224 с.

² Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России / под общ.

ред. В.Н. Щедрина. Новочеркасск, 2009. 175 с. URL: <http://av.disus.ru/monografiya/846843-1-problemi-perspektivi-ispolzovaniya-vodnih-resursov-agropromishlennom-komplekse-rossii-pod-obschey-redakciey-akademika-rashn-doktora-te.php>

донных наносов в верхние слои потока и дополнительному их захвату в магистральный канал [3].

Снижение захвата твердого стока в водозаборные сооружения обычно достигается путем проведения глубоких гидравлических промывок, которые являются основным способом очистки верхнего бьефа от отложившихся в нем наносов [4, 5]. Однако проведение регулярных глубоких промывок встречается затруднения из-за возникновения конфликтных ситуаций с другими водопользователями общей водоресурсной системы речного бассейна (гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт и т.д.) [6].

Дополнительный, к глубоким гидравлическим промывкам, способ очистки верхних бьефов от наносов путем целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений в период пропуска паводков через водозаборный узел требует разработки соответствующих схем эксплуатации для конкретных гидрологических условий и режимов работы водозаборных узлов. При этом следует учитывать сложные и недостаточно изученные особенности русловых процессов в зонах подпора и в отводящих руслах, особенности и структурные характеристики поперечной циркуляции, условия перераспределения скоростей и транспорта речных наносов различной крупности и количества. [7]. Поэтому из-за опасения сбойных течений в нижнем бьефе и для снижения различного рода рисков в инструкциях по эксплуатации водозаборных узлов, составляемых на основе «Правил эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений»³, предусматривается равномерное открытие щитов водосбросной плотины во время пропуска паводковых расходов через гидроузел.

Вместе с тем, метод целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений в паводковый период является перспективным и эффективным в решении проблемы борьбы с заилинием каналов оросительной системы. С этой целью были проведены поэтапные исследования от модельных и натурных исследований до анализа трудностей в реализации гидравлических методов регулирования режима наносов при эксплуатации водозаборного узла, что уже непосредственно связано с проблемами совершенствования системы управления орошением. Для нахождения направлений в преодолении организационных трудностей реализации гидравлических методов проведен об-

зор современных мировых тенденций в модернизации управления орошением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка эксплуатационных методов целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений низконапорных фронтальных водозаборных узлов в период похождения паводков проводилась на крупномасштабной полевой модели, фрагментной лабораторной модели послыонного водозабора и натурных исследований на Терско-Кумском гидроузле.

Возможности крупномасштабной размываемой модели размером 50 на 25 м (горизонтальный и вертикальный масштабы $\lambda_l = 100$, $\lambda_h = 30$) позволяли проводить измерения деформаций водной поверхности в верхнем бьефе фронтального водозаборного узла при различных вариантах маневрирования щитами водопропускных сооружений и условиях пропуска паводковых расходов (рис. 1).

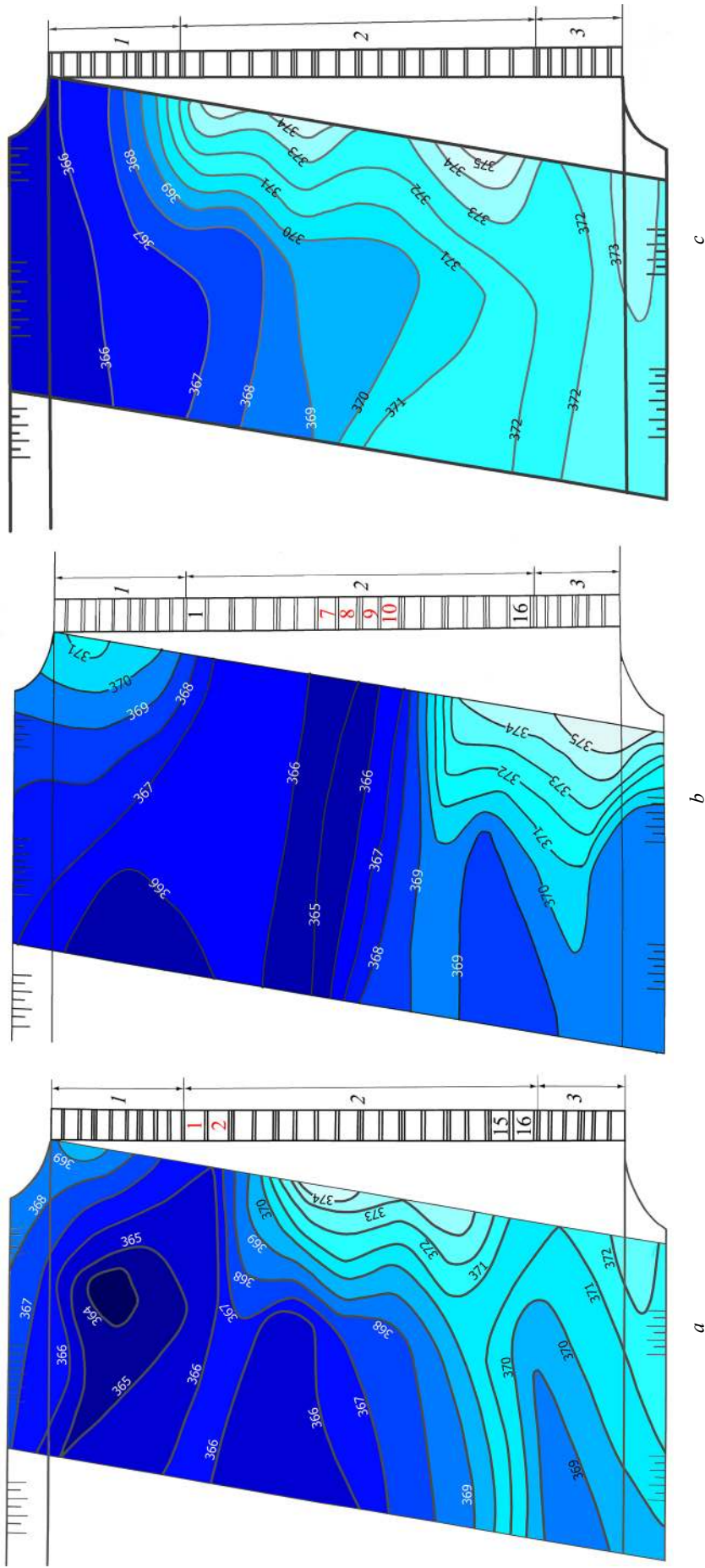
Опыты проводились для условий заилиения верхнего бьефа до бытовых отметок. Песок, средний диаметр которого составлял 0,17 мм, подавался на модель через тщательно тарированный дозатор с расходом 191,4 г/с и опыт продолжался не менее 5 часов. Расход воды на модели составлял 365 л/с, соответствующий расходу паводка 6000 м³/с. Щиты левобережного водозабора оставались полностью открытыми, а щиты правобережного водозабора были прикрыты для пропуска постоянного расхода воды равного 33,32 л/с, что соответствовало 530 м³/с в натуре.

Как показали исследования, при полном открытии двух пролетов с обеих сторон водосбросной плотины образуется уклон водной поверхности от водозаборного сооружения в сторону щитовой плотины, что приводит к образованию поперечной циркуляции потока, влияющей на русловый процесс в верхнем бьефе гидроузла. Создание зон искусственной циркуляции в верхнем бьефе гидроузла, конструкция которого основана на послыонном делении взвесенесущего потока, способствует отвлечению части твердого стока от водозаборного сооружения и снижению объемов захвата наносов в каналы оросительной системы.

Максимальный эффект отвлечения донных наносов достигается при оптимальной точке форсирования (до 30 %), когда, во-первых, обеспечивается фронтальный подход потока к водозабору, а во-вторых, зона циркуляции потока располагается в непосредственной близости от водозабора.

Как видим, при форсировании сбросных расходов к центру водосливной плотины зона циркуляционного потока располагается в ее пределах (рис. 1, б). При равномерном открытии щитов на

³ Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений : утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ 26.05.1998. URL:



1 — Правобережный водозабор / Right bank water intake
 2 — Водосливная плотина / Spillway dam
 3 — Левобережный водозабор / Left bank water intake

Рис. 1. Деформация водной поверхности в верхнем бьефе фронтального водозаборного узла. *a* — сбросные расходы пропускаются через полностью открытые пролеты водосборной плотины, примыкающие к водозабору; *b* — сброс паводковых расходов через центральные пролеты водосборной плотины; *c* — равномерное открытие щитов водосборной плотины

Fig. 1. Water surface deformation in the headwater of front water intake: *a* — spillage flow through completely open spillway dam gates adjacent to water intakes; *b* — flood spillage flow through spillway dam central gates; *c* — the uniform opening of spillway dam screens

водосбросной плотине создаются условия для осаждения наносов перед водосбросным фронтом и образования островов, что приводит к возрастанию скорости потока в зоне работы левобережного водозабора и дополнительному захвату наносов в канал (рис. 1, с). Наиболее неблагоприятные условия создаются при открытии щитов, примыкающих к водозаборному сооружению (рис. 1, а) и равномерном открытии пролетов водосбросной плотины.

Следует отметить, что в инструкциях по эксплуатации водозаборных узлов рекомендуется при пропуске высоких паводковых расходов равномерное открытие щитов водосбросной плотины, очевидно, из-за опасения сбойных течений в нижнем бьефе. Проводимые модельные исследования пропуска паводков различной обеспеченности не показали опасных размывов дна в нижнем бьефе, хотя, безусловно, при проектировании ответственных гидротехнических сооружений различных типов компоновки, подобные исследования должны обязательно проводиться.

В лабораторных исследованиях на модели фронтального водозабора изучалось влияние различных вариантов открытия щитов шлюза-регулятора и донных промывных галерей на захват донных наносов в канал. В качестве наносов на модели

использовался песок со средним диаметром 0,4 мм. Результаты опытов, включая данные, полученные на крупномасштабной модели, в графическом виде представлены на рис. 2 [8].

На графике, представленном в относительных величинах, четко прослеживается тенденция возрастания величины захвата наносов в шлюз-регулятор ($q_k/\Sigma q_\Sigma$) от возрастания величины расходов воды ($Q_k/\Sigma Q_{sum}$), и отношения средней скорости потока в полсе водозаборного сооружения к скорости начала движения наносов (U/U_0). Где Q_k — расход воды, забираемой в канал; ΣQ_{sum} — общий суммарный расход воды, включая расход воды через донные промывные галереи; расход наносов, захватываемых в канал фронтального водозабора, q_k — расход наносов, захватываемых в канал фронтального водозабора и q_Σ — расход наносов в подводящем русле гидроузла.

Для количественной оценки расходов наносов (q_k), захватываемых в водозабор, величину расхода наносов в подводящем русле гидроузла (q_Σ) можно рассчитать по одной из известных формул транспортирующей способности потока [9]. Для водозаборных узлов, расположенных в бассейнах рек Кубани и Терека, наиболее подходящей оказалась формула А.Г. Хачатряна [9]:

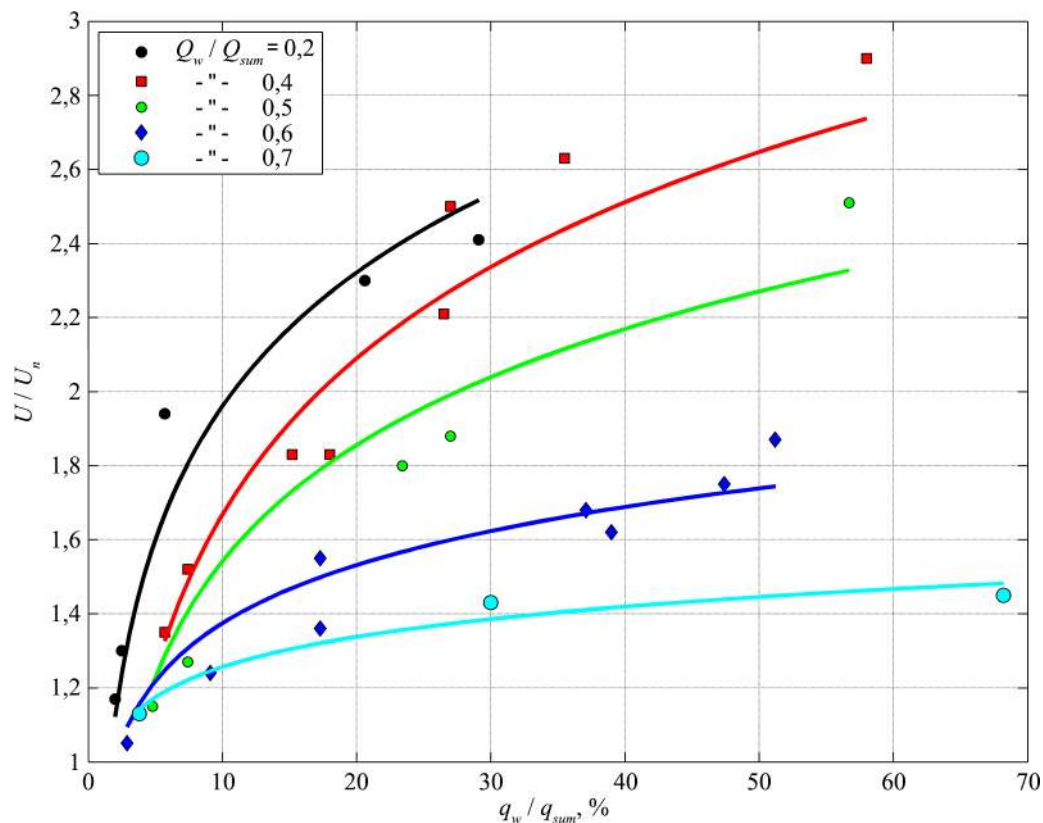


Рис. 2. График определения количества твердого стока, захватываемого в канал фронтального водозабора
 Fig. 2. Graph of determination of sediment amount captured into front water intake channel

$$\rho_T = 0,69 \frac{V^{3/2}}{(RW)^{1/3}} a,$$

где ρ_T — транспортирующая способность потока, г/м³; W — гидравлическая крупность частиц среднего диаметра; v — средняя скорость течения воды, м/с; R — гидравлический радиус, м;

$$a = \frac{\sqrt[3]{Fr}}{\sqrt[3]{h}},$$

где Fr — число Фруда.

График захвата наносов в канал фронтального водозабора может использоваться как ориентир для оценки возможности сокращения подачи воды в оросительную систему во время прохождения паводковых расходов путем целенаправленного маневрирования щитами водозаборного сооружения и донных промывных галерей

Разработанная схема целенаправленного маневрирования щитами водосбросной плотины для создания зон понижения свободной поверхности была применена при прохождении паводковых расходов на Терско-Кумском гидроузле (план гидроузла представлен на рис. 3). При прохождении паводкового расхода $Q = 526$ м³/с (75 % обеспеченности) создалась аварийная ситуация, при которой плавающий мусор и целые стволы деревьев с потоком воды приплывали к гидроузлу. Согласно действующей инструкции по эксплуатации щиты на водосбросной плотине были равномерно прикрыты на 20 см, а щиты шлюза-регулятора полностью открыты, вследствие чего весь плавающий мусор и стволы деревьев попадали в магистральный канал, из которого удалялись с помощью кранов и лебедок.

С использованием результатов модельных исследований было решено открыть полностью про-

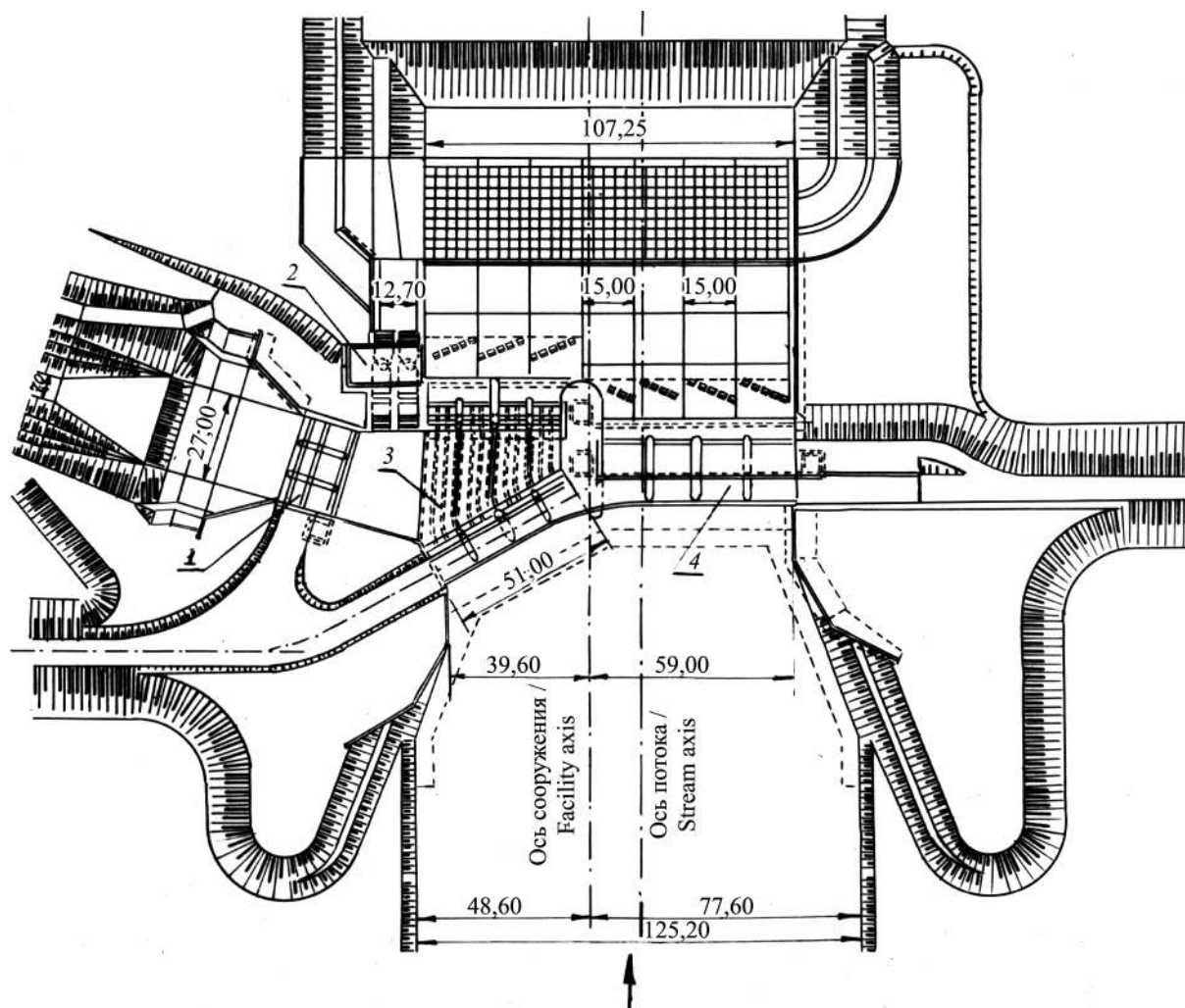


Рис. 3. Компонка в плане Терско-Кумского гидроузла: 1 — водозабор; 2 — ГЭС; 3 — двухъярусная аванкамера с донными промывными галереями; 4 — водосливная плотина

Fig. 3. Plan layout of Tersko-Kumsky hydroengineering generating system: 1 — water intake; 2 — hydropower station; 3 — two-tier antechamber with bottom flushing galleries; 4 — spillway dam

лет водосбросной плотины, смежный с водозаборным сооружением. Как и ожидалось, образовался уклон водной поверхности от водозабора к открытому пролету плотины, через который весь мусор и бревна беспрепятственно сбрасывались в нижний бьеф.

В связи с тем, что службой эксплуатации Терско-Кумского гидроузла проводятся системные наблюдения гидравлических параметров режима работы водопропускных сооружений и динамики заилиenia магистрального канала имелась возможность провести сравнительный анализ существующей и предлагаемой схем эксплуатации. Сравнение проводилось с годом равным водной обеспеченности (75 %) и графиком подачи воды в магистральный канал, результаты которого показали, что при полном открытии щита водосбросной плотины смежного с водозаборным сооружением объем заилиenia магистрального канала за пять дней сократился на 20 %.

В следующем году с июня по август во время прохождения паводковых расходов от 495 до 579 м³/с осуществлялось использование предлагаемого метода в дополнение к глубоким промывкам. Эффективность сочетания методов глубокой гидравлической промывки и дополнительных методов целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений плотинного водозаборного узла иллюстрируется данными измерений

динамики заилиenia головного участка магистрального канала (рис. 4).

Как видно из графика, представленного на рис. 4, интенсивность заилиenia головного участка магистрального канала при проведении целенаправленного маневрирования путем полного открытия одного–двух пролетов водосбросной плотины сократилась на 30–40 %.

Наблюдавшиеся во время весенне-летнего и осеннего паводков резкие скачки интенсивности заилиenia канала объясняются сокращением числа глубоких гидравлических промывок. В настоящее время число глубоких гидравлических промывок при снижении отметок нормального подпорного уровня ограничено до одной–двух промывок в год из-за возражений со стороны органов Рыбнадзора.

Использование метода маневрирования щитами шлюза-регулятора водозаборного сооружения для снижения пиковых скачков заилиenia магистрального канала путем снижения подачи воды в оросительную систему не представлялось возможным из-за жестко установленного графика подачи воды и отсутствия взаимодействия с сельхозпроизводителями. В настоящее время календарные графики подачи воды в магистральные каналы согласовываются в начале года между водопользователями и службами эксплуатации оросительных систем, а затем утверждаются соответствующими региональными министерствами по охране окружа-

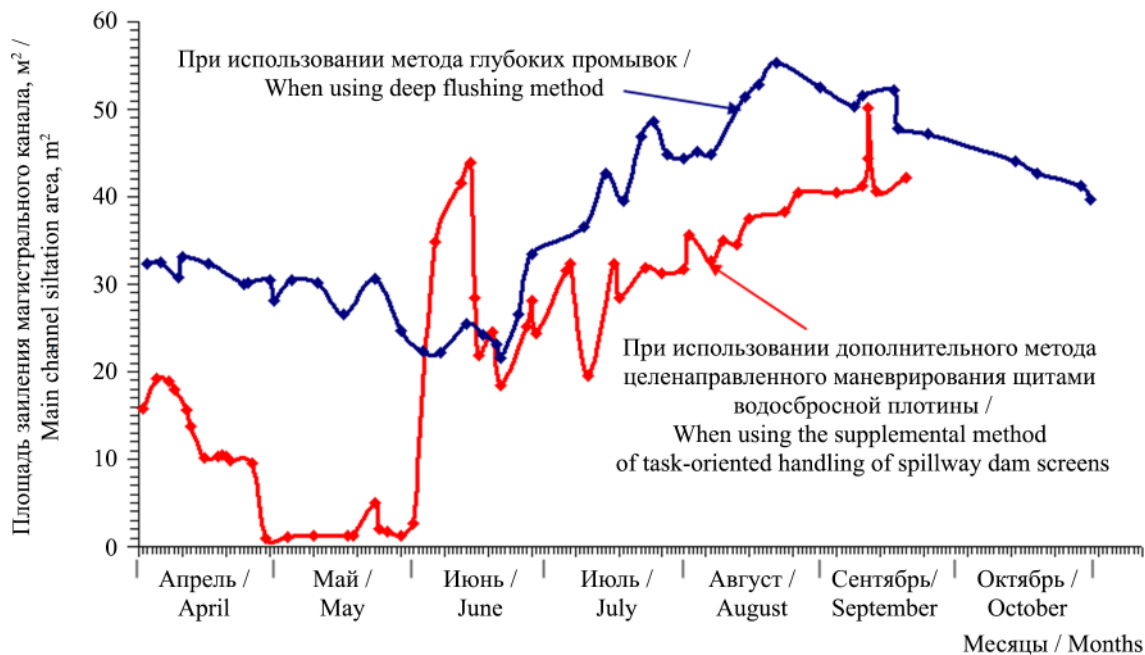


Рис. 4. График сравнения динамики заилиenia магистрального канала при существующей и новой схеме эксплуатации гидроузла

Fig. 4. Comparison graph of central channel siltation behaviour for current and new operational patterns of hydroengineering generating system

ющей среды, что не позволяет вносить изменения в режим работы оросительной системы в реальном времени в период вегетации.

Оценка эффективности эксплуатационных мероприятий борьбы с заилием каналов оросительных систем при использовании гидравлических методов регулирования наносного режима в верхнем бьефе водозаборного узла проводится из расчета максимального сокращения затрат на механическую очистку каналов. Так, например, объемы очистки магистрального канала Терско-Кумской ООС составляли в разные годы 276, 250, 289 тыс. м³, а в 2015 г. было очищено 2,9 км магистрального канала в объеме 108 тыс. м³ на сумму 6 млн руб. Следовательно, сокращение объемов заилиения канала на 30–40 % могло бы дать экономию затрат на очистку канала в среднем 2 млн руб.

Таким образом, повышение эффективности эксплуатационных мероприятий по снижению объемов заилиения каналов требует совершенствования системы управления орошением.

Безусловно, проблемы управления являются отдельной темой, но в то же время рассмотрение в общих чертах современных тенденций совершенствования и развития управления орошением в отечественной и зарубежной практике позволяет определить направления в преодолении трудностей реализации целенаправленного метода регулирования щитами водопропускных сооружений водозаборного узла.

Мировой тенденцией развития управления водными ресурсами и, соответственно, водопользованием в сельском хозяйстве является интегральное управление водными ресурсами (ИУВР). Гидрографический подход в ИУВР позволяет рассматривать водохозяйственную систему как целостный объект управления во взаимосвязи с различными видами водопользования, учитывая их цели и интересы, что дает возможность урегулировать возникающие конфликтные ситуации между различными водопользователями общей водоресурсной системы в географических пределах речного бассейна [10, 11, 17].

В интегральном управлении водными ресурсами приоритет отдается максимальному активному участию заинтересованных сторон в процессах принятия решений на условиях прозрачности и предоставленной адекватной и своевременной информации. Активизация социальных и творческих процессов на основе использования стратегии партнерства (соучастия) для преодоления отчужденности персонала от результатов труда обуславливает переход от административно-командной системы управления к современной рыночной модели партнерства в управлении водопользованием в сельском хозяйстве. Использованию стратегии

партнерства посвящен доклад ФАО «Модернизация управления орошением — методика MASSCOTE».

Так, совместное участие сельхозпроизводителей и служб эксплуатации как единой команды позволяет корректировать в реальном времени сокращение подачи воды в магистральный канал для снижения интенсивности заилиения каналов при проведении целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений водозаборного узла в паводковый период.

Использование стратегии партнерства в управлении орошением и вовлечении сельхозпроизводителей в управление эксплуатацией водозаборного узла осуществляется путем делегирования (децентрализации) части полномочий и ответственности от государственных структур к организациям частного сектора (ассоциации водопользователей, сельхозкооперативы, ирригационные округа и т.д.).

Опыту децентрализации управлением орошения по 40-м странам мира посвящен доклад ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (ФАО) «Передача управления ирригационными системами. Мировой опыт и результаты» [14].

В Докладе указывается на относительное сходство процесса децентрализации во всех частях мира, что связано с общими техническими, сельскохозяйственными, организационными и экономическими аспектами функционирования ирригационных систем, которые должны быть взаимосвязаны для обеспечения продуктивного и устойчивого развития отрасли. В тоже время, не может существовать единой «модели» децентрализации и попытки навязывания чужого опыта, вероятнее всего закончатся провалом. С другой стороны, уже полученные уроки должны представлять основу, которую следует учитывать и использовать другими странами в своей практике. Каждая страна или регион должны двигаться своим темпом в соответствии с собственными социально-экономическими, законодательными и культурными традициями [15].

Большое внимание в докладе ФАО уделяется организационным, правовым и социально-экономическим вопросам делегирования части полномочий и ответственности от государственных структур на более низкие уровни управления. Во многих странах инициатива исходила от органов власти в иных случаях от фермеров и агентств по техническому содействию. В республиках Центральной Азии (Узбекистане, Кыргызии, Казахстане и Туркмении) мотивация к децентрализации управления водным хозяйством определялась политическим и экономическим переходным периодом, последовавшим за распадом Советского Союза. В последнем опубликованном «Ежегоднике вода в Центральной Азии и в мире» анализировались результаты перехода

стран Центральной Азии к интегральному управлению водными ресурсами, которые показали положительную тенденцию в расширении орошаемых площадей, повышении урожайности и увеличении дохода хозяйств⁴.

Обычно процесс децентрализации встречает сопротивление, особенно на ранних этапах: ирригационные агентства боятся потерять работу и часть финансового обеспечения; фермеры не верят, что они смогут платить полную стоимость ирригационных затрат. Однако в реальности этого не происходило.

Поэтому, если на правительственном уровне осознана необходимость перехода к интегрированному управлению водными ресурсами и децентрализации управления водопользованием в сельском хозяйстве, то на более низких уровнях управления без понимания пользы и выгод от перехода на новую модель управления все решения будут саботироваться. Указывается, что для успешного перехода к децентрализации управления оросительными системами необходима политическая и финансовая поддержка в течение продолжительного времени. С этой целью новыми стимулами могут послужить обмен информацией и ознакомительные поездки в страны, где успешно реализуются методы передачи управления оросительными системами; создание пилотных проектов; проведение семинаров и кампаний по росту общественной осведомленности и т.д.

Со временем, после разработки пилотных проектов и проведения переговоров, сопротивление стороны ирригационных агентств и местных органов власти постепенно сменялось поддержкой и осознанием полезности проводимых реформ. В тех странах, где государство по-прежнему играет важную роль в управлении орошением, трудности разрешались путем введения новых функций ирригационных агентств.

За агентствами остается основная роль в управлении оросительными системами и самыми характерными задачами для них являются выработка политики, законов, стратегий и планов для орошаемого сектора экономики и частных фермерских организациях. Сюда также относятся: организация обучения, инспектирования, консультирования и разрешение конфликтов в частных фермерских организациях. Агентства также продолжают руководство более сложными и крупными гидравлическими системами.

Отмечается, что, если частные фермерские организации возьмут на себя часть затрат по эксплуатации каналов на распределительном уровне (второго-третьего порядков) и расположенных на них гидротехнических сооружений, то возрастут стимулы для более продуктивного и самообеспе-

чиваемого орошаемого земледелия. Фермеры будут стремиться управлять ирригационными системами таким образом, чтобы увеличить поливные площади, повысить урожайность и получить прибыль. Это будет мотивировать фермеров платить больше за свои ирригационные системы, поскольку будут обладать полномочиями решать, какими должны быть их ирригационные услуги, кто будет предоставлять их, как и за чей счет услуги будут предоставляться. Фермеры станут заинтересованными в результатах, а это обеспечит рациональное водопотребление и эффективную эксплуатацию оросительных систем. При этом правление фермерских организаций улучшит отчетность, что позволит обеспечить более справедливое перераспределение государственных субсидий [16].

В отношении формирования законодательной базы децентрализации управления оросительными системами отмечается, что зачастую правительства не желают сталкиваться с трудностями, возникающими при изменении действующих законов путем парламентских процедур, и стараются осуществлять реализацию реформ в рамках действующего неудовлетворительного законодательства или министерских постановлений, не имеющих надлежащего веса и полномочий. К сожалению, данная практика законотворчества характерна для нашей страны в отношении совершенствования Федерального закона от 10.01.1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель», что является причиной столь медленного перехода на новый технологический уровень управления водопользованием в сельском хозяйстве.

Создание частных фермерских организаций обычно требует принятия устава или внутренних положений и подзаконных актов. Часто за этим следуют подготовка и принятие соглашения о передаче управления, определяющие основные права, обязанности, полномочия и правила, регулирующие деятельность частных фермерских организациях, государственных учреждений и фермеров.

Следует заметить, что в Водном кодексе РФ, который в целом отвечает современным требованиям интегрального управления водными ресурсами, совершенно недопустимым является отсутствие сельскохозяйственного сектора экономики в структуре формирования бассейновых округов, тогда как сельское хозяйство является одним из основных водопользователей и загрязнителей речного бассейна. Представляется необходимым включение сельскохозяйственного сектора экономики в главу 5 (Водопользование) Водного кодекса РФ, что позволит осуществлять межведомственный обмен информацией и комплексно учитывать интересы и урегулировать конфликтные ситуации между различными водопользователями в бассейновых округах.

Таким образом, решение проблемы повышения эффективности эксплуатационных мероприятий требует системного подхода, учитывающего как технические (совершенствование гидравлических методов борьбы с заилием каналов), так и законодательные, административно-хозяйственные и другие аспекты управления орошением. Поэтому повышение эффективности эксплуатационных мероприятий следует рассматривать как одну из тактик в достижении общей цели управления орошением, которой является обеспечение безаварийной и бесперебойной подачи воды сельхозпроизводителям.

В зарубежной практике при разработке законодательной базы управления водными ресурсами, включая управление орошением, последовательно рассматривались различные тактики и их комбинации на основе проведения системного анализа с использованием компьютерных и информационных технологий. Так, например, при разработке водного законодательства Нидерландов «Политический анализ водоресурсного менеджмента Нидерландов (PAWN)» (1984) рассматривались комбинации около 40 тактик, где каждая тактика определяется как единственное средство улучшения управления водными ресурсами⁵.

Разработка водного законодательства США «Экономические и экологические принципы и ориентиры для планирования водных и относящихся к ним земельных ресурсов» (1980) также основывалась на обширных исследованиях в области системных анализов [17].

Подробное описание работы над водным законодательством Нидерландов приведено в докладе ОБСЕ «Системный анализ в водоресурсном менеджменте Нидерландов»⁵. Экономический эффект от внедрения системного анализа в управление водными ресурсами Нидерландов составлял ежегодную прибыль примерно 70 млн долл. США. При этом прибыль имели большинство участников водохозяйственного комплекса за исключением энергетических компаний, отрицательная прибыль которых в 3,5 млн долл. США в год покрывалась за счет перераспределения прибылей, главным образом, сельского хозяйства.

Эффективность принятия решений в управлении водными ресурсами во многом определяется необходимым объемом качественной и своевременной информации. В отношении дальнейшего совершенствования гидравлических методов борьбы с заилием каналов требуется разработка сценарных вариантов, которые могут быть отработаны на имитационных моделях для конкретных гидрологических условий и режимов работы водозаборных узлов. Это позволяет значительно сокращать время

на проведение натурных исследований и получения последовательных и надежных результатов [18].

Использование сценарных вариантов в оперативном управлении позволяет в реальном времени уточнять и корректировать схемы маневрирования щитами водопропускных сооружений водозаборного узла. При этом возрастает потребность в современном измерительном оборудовании с программным обеспечением для сбора, цифровой обработки, передачи, хранения и отображения на мониторах в реальном времени информации об уровнях водной поверхности, скоростях потока, мутностей и т.д.

Для использования в оперативном управлении современное измерительное оборудование или разработанные отечественные аналоги должны быть включены в Государственный реестр средств измерения (Госреестр СИ) и войти в действующие «Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений».

Сбор и передача информации должны быть доступны для центров принятия решений в реальном времени или близком к нему режиме. Разумное использование накопленной информации по режиму эксплуатации оросительной системы позволяет принимать рациональные решения проблемы борьбы с захватом донных наносов в водозаборы в последующие сезоны и годы.

Таким образом, проведение поэтапного изучения проблемы борьбы с заилием каналов оросительных систем от разработки гидравлических методов регулирования наносного режима в верхнем бьефе водозаборного узла до анализа трудностей их осуществления на практике позволяет наиболее четко видеть перспективы совершенствования системы управления орошением и ее возможностей восприятия научно-технических достижений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные модельные и натурные исследования убедительно доказали эффективность разработанного метода целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений в период похождения паводков в дополнение к проведению глубоких гидравлических промывок в межень. Это позволяет снизить захват наносов в каналы оросительной системы на 30–40 % и тем самым значительно сократить затраты на механическую очистку каналов оросительной системы.

Эффективность реализации гидравлических методов ограничивается возможностями существующей системы управления орошением в разрешенных конфликтных ситуациях между различными водопользователями общей системы речного бассейна, а также в обеспечении необходимого вовле-

чения сельхозпроизводителей в управление эксплуатацией водозаборного узла.

Обращение к мировому опыту перехода к интегральному управлению водными ресурсами и передаче части полномочий и ответственности на более низкие уровни управления оросительными системами позволили оценить потенциальные возможности перехода на современную модель управления орошением для повышения эффективности эксплуатационных методов по снижению захвата наносов в водозаборные сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методы целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооруже-

ний в период прохождения паводков в дополнение к проведению глубоких промывок при снижении НПУ в верхнем бьефе фронтальных водозаборных узлов в период межени для сокращения объемов заиления каналов оросительных систем являются эксплуатационными мероприятиями, повышение эффективности которых связано с совершением системы управления орошением.

Полученные на основе проведения модельных исследований методы воздействия на русловые процессы в верхнем бьефе фронтального водозаборного узла, а также график количества твердого стока, захватываемого в магистральный канал, могут быть использованы при разработке схем эксплуатации для конкретных конструкций гидроузлов и гидрологических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щедрин В.Н., Штанько А.С., Воеводин О.В., Кожанов А.Л., Жук С.Л., Шепелев А.Е. Пути совершенствования планового водопользования на оросительных системах : научный обзор. Новочеркасск, 2014. 36 с. URL: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2014/shtanko.pdf>
2. Щедрин В.Н., Сенчуков Г.А. Проблемы эксплуатации оросительных систем России и пути их решения // Сб. статей ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2008. Вып. 40. Ч. II. С. 5–8.
3. Данелия Н.Ф. Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами. М. : Колос, 1964. 336 с.
4. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 239 с.
5. Флексер Ч.Н., Волохов А.Н. Промыв водохранилищ и верхних бьефов гидроузлов // Гидротехника и мелиорация. 1968. № 3. С. 20–26.
6. Гвелесиани Л.Г., Шмальцель Н.П. Заиление водохранилищ гидроэлектростанций. М. : Энергия, 1968. 85 с.
7. Розанов Н.П., Бочкарев Я.В., Лапшенков В.С. Гидротехнические сооружения / под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат, 1985. 432 с.
8. Наумова Т.В., Кушер А.М., Пикалова И.Ф. Эксплуатационные методы сокращения захвата донных наносов в водозаборы оросительных систем и проблемы их внедрения // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 20–25.
9. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М. : Энергия, 1972. 312 с.
10. Муравская М.Л. Правовые аспекты интегрированного управления водными ресурсами на основе бассейнового принципа // Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. 2013. № 4 (41). С. 726–731.
11. Земцов В.А. Современные подходы к управлению водными ресурсами на Западе и в России // Вестник Томского государственного университета. 2001. № 274. С. 85–94.
12. Raqab Raqab. Integrated management tool for water, crop, soil and N-Fertilizer: the saltmed model // The Journal of International Commission on Irrigation and Drainage. 2015. Vol. 64. Issue 1. Pp. 1–13. DOI: 10.1002/ird.1907
13. Рено Д., Факон Т., Вахадж Р. Модернизация управления орошением — методика MASSCOTE. Рим : Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства, 2007. 282 с. URL: http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/masscote_fao_63.pdf
14. Гарсез-Рестрено К., Вермиллион Д., Муньоз Д. Передача управления ирригационными системами. Мировой опыт и результаты 32 : отчет ФАО по водным вопросам. Рим, 2007. 65 с. URL: <http://www.fao.org/3/a-a1520r.pdf>
15. Kadiresan K., Khanal P.R. Rethinking irrigation for global food security // Irrigation and Drainage. 2018. Vol. 67. Issue 1. Pp. 8–11. DOI: 10.1002/ird.2219
16. Luo F., Ma W., Sun C., Tian M., Zhou Y. Analysis of the performance of government investment and interventions to promote small-scale irrigation works in China's major grain-producing areas-based on the twostep model of malmquist-FGLS // Irrigation and Drainage. 2017. Vol. 66. Issue 3. Pp. 293–304. DOI: 10.1002/ird.210919.
17. Hobbs B.F., Stakhiv E.Z., Grayman W.M. Impact evaluation procedures: theory, practice, and needs // Journal of Water Resources Planning and Management. 1989. Vol. 115. Issue 1. Pp. 2–21. DOI: 10.1061/(asce)0733-9496(1989)115:1(2)
18. Chattopadhyay P. Flow meters and flow measurement. New Delhi, 2006. 437 p.

Поступила в редакцию 17 июня 2019 г.

Принята в доработанном виде 1 июля 2019 г.

Одобрена для публикации 26 августа 2019 г.

О Б А В Т О Р А Х: **Татьяна Васильевна Наумова** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)**; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2; naumova@vniigim.ru;

Анатолий Михайлович Кушер — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова)**; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2; esongamk1@gmail.com;

Ирина Федоровна Пикалова — кандидат технических наук, профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики; **Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева**; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; **Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова**; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 3; mvhs@rgau-msha.ru.

REFERENCES

1. Schedrin V.N., Shtanko A.S., Voevodin O.V., Kozhanov A.L., Zhuk S.L., Shepelev A.E. *Ways of improving planned irrigation water management : scientific review*. Novocherkask, 2014; 36. (rus.).
2. Schedrin V.N., Senchukov G.A. Operating problems of irrigation systems in Russia and their solutions. *Collection of articles FGNU "RosNIIMP"*. Novocherkask, 2008; 40(II):5-8. (rus.).
3. Daneliya N.F. *Water intake structures on rivers with large bottom sediment*. Moscow, Kolos, 1964; 336. (rus.).
4. Lapshenkov V.S. *Prediction of channel deformations in reaches of river hydroelectric complexes*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1979; 239. (rus.).
5. Flekser C.N., Volokhov A.N. Flushing of reservoirs and upper reaches of waterworks. *Journal Hydraulic engineering and Land Reclamation*. 1968; 3:20-26. (rus.).
6. Gvelesiani L.G., Shmaltse N.P. *Silting of hydroelectric complex reservoirs*. Moscow, Energia, 1968; 85. (rus.).
7. Rozanov N.P., Bochkarev Y.V., Lapshenkov V.S. *Hydrotechnical structures*. Ed. Rozanov N.P. Moscow, Agropromizdat, 1985; 432. (rus.).
8. Naumova T.V., Kusher A.M., Pikalova I.F. Operational methods of reducing the capture of bottom sediment into the water intake irrigation systems and problems of their implementation. *Land Reclamation and Water Management*. 2017; 1:20-25. (rus.).
9. Kiselev P.G. *Handbook of hydraulic calculations*. Moscow, Energy, 1972; 312. (rus.).
10. Muravskay M.L. Legal aspects of integrated water resources management based on the basin principle. *Journal of foreign legislation and comparative law*. 2013; 4(41):726-731. (rus.).
11. Zemtsov V.A. Modern approaches to water management in the West and in Russia. *Vestnik of Tomsk State University*. 2001; 274:85-94. (rus.).
12. Raqab R. In integrated management tool for water, crop, soil and n-fertilizers: The Saltmed Model. *Irrigation and Drainage*. 2015; 64(1):1-12. DOI: 10.1002/ird.1907
13. Renault D., Facon T., Wahaj R. *Modernizing irrigation management — the MASSCOTE approach*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007; 238. URL: <http://www.fao.org/3/a-a1114e.pdf>
14. Garces-Restrepo C., Vermillion D., Muñoz D. *Irrigation management transfer. Worldwide efforts and results*. FAO Water Reports, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 32, 2007; 65. URL: <http://www.fao.org/docrep/pdf/010/a1520e/a1520e00.pdf>
15. Kadiresan K., Khanal P.R. Rethinking irrigation for global food security. *Irrigation and Drainage*. 2018; 67(1):8-12. DOI: 10.1002/ird.2219
16. Luo F., Ma W., Sun C., Tian M., Zhou Y. Analysis of the performance of government investment and interventions to promote small-scale irrigation works in china's major grain-producing areas-based on the two-step model of malmquist-FGLS. *Irrigation and Drainage*. 2017; 66(3):293-305. DOI: 10.1002/ird.2109
17. Hobbs B.F., Stakhiv E.Z., Grayman W.M. Impact evaluation procedures: theory, practice, and needs. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 1989; 115(1):2-21. DOI: 10.1061/(asce)0733-9496(1989)115:1(2)
18. Chattopadhyay P. *Flow meters and flow measurement*. New Delhi, 2006; 437.

Received June 17, 2019.

Adopted on July 1, 2019.

Approved for publication August 26, 2019.

B I O N O T E S: **Tatyana V. Naumova** — Candidate of Engineering Sciences. Leading researcher; **All Russia Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named by A.N. Kostyakov (VNIIGiM named by A.N. Kostyakov)**; build. 2, 44 Bolshaya Akademicheskaya st., 127550, Moscow, Russian Federation; naumova@vniigim.ru;

Anatoliy M. Kusher — Candidate of Engineering Sciences, Leading researcher; **All Russia Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named by A.N. Kostyakov (VNIIGiM named by A.N. Kostyakov)**; build. 2, 44 Bolshaya Akademicheskaya st., 127550, Moscow, Russian Federation; econgamk1@gmail.com;

Irina F. Pikalova — Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department of integrated water resources management and hydraulics; **Russian State Agricultural University**; 49 Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russian Federation; **Institute of reclamation, water management and construction**; build. 3, 44 Bolshaya Akademicheskaya st., 127550, Moscow, Russian Federation; mvhs@rgau-msha.ru.