

Trudy XXII mezhdun. konf. «Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnyh sistem», decabr 2014 g. – M.: RGGU, 2014. – S. 196-198.

7. **Karpenko N.P.** Analiz zashchitnyh svoystv porod zony aeratsii i otsenka zashchishchennosti gruntovyh vod v zone sbrosa zagryaznyayushchih stokov // Prirodooobustrojstvo. – 2014. – No. 2. – S. 70-74.

8. **Karpenko N.P.** Otsenka geocologicheskoy situatsiii rechnyh bassejnov na osnove atributivnyh pokazatelej i obobshchennyh geocologicheskikh riskov // Prirodooobustrojstvo. – 2018. – № 2. – S. 15-22.

9. **Karpenko N.P.** Otsenka vzaimosvyazi poverhnostnyh i podzemnyh vod malyh rek Moskovskoj oblasti dlya resheniya problem ekologicheskoy reabilitatsii vodnyh objektov / Materialy mezhdun. nauchnogo foruma «Problemy upravleniya vodnymii zemelnymi resursami», Ch. 1. – M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. – S. 3-12.

10. **Karpenko N.P., Lomakin I.M., Drozdov V.S.** Voprosy upravleniya geocologicheskimi riskami pri otsenke kachestva podzemnuh vod na urbanizirovannyh territoriyah // Prirodooobustrojstvo. – 2019. – № 5. – S. 106-111.

11. **Shestakov V.M.** Gidrogeodynamica: uchebnyk. 3-e izd. – M.: Izd-vo MGU, 1995. – 368 s.

12. **Minyaeva Yu.V.** Vliyanie tehnogenez na geocologicheskije usloviya Tulsckogo promyshlennogo rajona // Geocologiya. – 2011. – No. 5. – S. 42-49.

13. SanPiN 2.1.4.1110-02. Zony sanitarnoj ohrany istochnikov vodosnabzheniya i vodoprovodov pitjevogo naznacheniya. – Minzdrav Rossii. – M. – 2002.

The material was received at the editorial office
17.05.2020

Information about the authors

Karpenko Nina Petrovna, doctor of technical sciences, associate professor, head of the Department of hydrology, hydrogeology and flow regulation, FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 19, Pryanishnikova str., Moscow, 127550; e-mail: npkarpenko@yandex.ru

Shiryaeva Margarita Alexandrovna, student of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127550; e-mail: margaretshiryaeva@gmail.com

УДК 502/504:551.435.13

DOI 10.26897/1997-6011-2020-3-122-129

В.Б. ЖЕЗМЕР

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА БЕЗОПАСНОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ УРЕЗА ВОДЫ

Передвижные насосные станции дешевле стационарных станций и, что немаловажно в современных условиях, не нуждаются в постоянной охране. Для установки насосов необходимо наличие фундамента из бетонных плит. С целью соблюдения мер безопасности, в том числе мер экологической безопасности, а также рационального использования финансовых ресурсов расчетный срок эксплуатации фундамента должен составлять 10 лет. Следовательно, передвижные насосные станции должны размещаться в местах, где влияние береговых процессов минимально. Для обоснования безопасности строительства сооружений в береговой зоне рек необходимо составление прогноза деформации берегов. При разработке расчетных методов особые сложности возникают в процессе расчета параметров движения потоков на повороте русел. Причиной является недостаточность наших знаний о механизме движения потоков не только на сложном изгибе, но и на одиночном. Методы расчетов гидравлических сопротивлений на изгибе русла при движении потоков в нем нельзя признать совершенными, так как они, как правило, основаны на эмпирических формулах. Следовательно, прогнозирование размыва берегов в течение расчетного периода эксплуатации связано со значительными трудностями. Для корректировки расчетов в каждом конкретном случае необходимо проводить

дополнительные натурные гидрологические исследования. На основании многолетних наблюдений было установлено, что выбор безопасного местоположения расположенных в непосредственной близости от уреза воды сооружений возможен при использовании программ, дающих возможность сравнения исторических космоснимков разных лет, таких как *GoogleEarthPro*. Путем анализа космоснимков возможно определение местонахождения стабильных зон берега, пригодных для расположения сооружений, расположенных в непосредственной близости от уреза воды. Стабильная зона берега характеризуется нахождением на выпуклой части излучины незначительной кривизны, с размываемым участком выше по течению и участком осаждения наносов ниже по течению. Обязательным условием является наличие водоворота выше по течению, в непосредственной близости от стабильной зоны берега. Указанный метод может послужить отправной точкой для определения безопасного местоположения сооружений, расположенных в непосредственной близости от уреза воды.

Волго-Ахтубинская пойма, прогноз руслообразования, исторические космоснимки, стабильная зона берега, безопасное расположение сооружений.

Введение. Передвижные насосные станции (П.Н.С.) дешевле стационарных станций и, что немаловажно в современных условиях, не нуждаются в постоянной охране. П.Н.С. устанавливаются вблизи водисточника с таким расчетом, чтобы иметь возможность подачи воды для орошения в течение всего периода вегетации сельскохозяйственных культур. Для установки насосов необходимо наличие фундамента из бетонных плит. С целью соблюдения мер безопасности, в том числе мер экологической безопасности, а также рационального использования финансовых ресурсов расчетный срок эксплуатации фундамента должен составлять 10 лет.

Так как П.Н.С. размещаются в непосредственной близости от уреза воды, (урез воды (реже *береговая линия*) – линия пересечения водной поверхности любого бассейна с поверхностью суши [1]), необходимо предусмотреть расположение П.Н.С. в месте, отвечающем следующим характеристикам:

- расстояние по вертикали от уровня воды в источнике до оси рабочего колеса насоса (геодезическая высота всасывания) меньше проектного для данной передвижной насосной станции на протяжении всего периода эксплуатации, а также в годы различной водности;

- гарантия от размыва сохраняется в течение срока эксплуатации П.Н.С.;

- осаждение наносов не препятствует процессу всасывания воды в течение срока эксплуатации П.Н.С.;

- предусмотренная инструкцией по эксплуатации П.Н.С. глубина в месте забора воды сохраняется в течение всего времени работы насоса.

Следовательно, передвижные насосные станции необходимо размещать в местах,

где влияние береговых процессов минимально. К береговым процессам следует относить процессы, которые так или иначе участвуют в формировании берегов, и представляют собой различные виды взаимодействия литосферы с гидросферой и атмосферой [2]. Ведущим берегоформирующим процессом является русловой процесс, совершаемый под действием текущей воды. Внешним его проявлением служит размыв пород, слагающих берега, на одних участках и отложение твердого материала – на других.

Составление прогноза размыва берегов необходимо для обоснования безопасности строительства сооружений в береговой зоне рек. Задачи прогноза размыва берегов, которые обычно приходится решать, заключаются в следующем:

- выявление процессов, участвующих в размыве береговых склонов и влияющих на устойчивость сооружений;

- качественная оценка изменения их активности по сравнению с существующей;

- определение предельных размеров берегоразрушений без указания срока их достижения;

- расчет средних и максимальных размеров разрушения берегов на заданный срок;

- расчет средних и минимальных сроков, в течение которых могут произойти берегообрушения определенных размеров [2].

Оценка переформирования речного русла и поймы производится с помощью методов расчета и прогноза русловых деформаций, основанных на структурных представлениях об изменении плановых и высотных (глубинных) очертаний русла, т.е. происходящих за счет перемещения

русловых образований [3]. Динамика берегов равнинных рек подчиняется закономерностям плановых деформаций русла. Реки по характеру деформаций подразделяются на следующие типы: ленточно-грядовый, побочневый, меандрирование (ограниченное, свободное и незавершенное), многорукавность (пойменная и русловая). Среди перечисленных типов руслового процесса лишь ленточно-грядовый и побочневый характеризуются слабыми плановыми деформациями, относительной устойчивостью берегов русла. При наличии таких типов деформаций русла, как меандрирование и многорукавность плановая деформация значительна. При расчетах коэффициентов шероховатости и пропускной способности пойм методы, удовлетворительно работающие на руслах простых форм сечения, в условиях меандрирующих русел и заросших растительностью пойм малоэффективны. При этом погрешности расчетов коэффициентов шероховатости по таблицам Срибного, Чоу, Бредли и Карасева значительно превышают допустимые [4, 5].

В процессе выбора места размещения сооружений на реке должны учитываться плановые и глубинные деформации русла. Вследствие значительных размеров плановых и высотных деформаций речного русла необходимо учитывать топографическую ситуацию как на момент строительства, так и ту, которая может возникнуть к концу расчетного периода эксплуатации. При анализе направленности русловых процессов различают вертикальные и горизонтальные деформации. Вертикальные деформации характеризуются процессами врезания реки в берег, а также аккумуляции наносов. Аккумуляция в данном случае происходит на дне речной долины и в других частях русла, при этом возможно образование отмелей. В случае горизонтальных деформаций наблюдаются смещения русел рек в плане, а также явления размыва и/или наращивания берегов. Направленность и интенсивность деформаций зависит от определяющих факторов, обусловленных природными особенностями территорий [6, 7].

При разработке расчетных методов особые сложности возникают в процессе расчета параметров движения потоков на повороте русел. Причиной является недостаточность наших знаний о механизме движения потоков не только на сложном изгибе, но и на одиночном. Методы расчетов гидравлических

сопротивлений на изгибе русла при движении потоков в нем нельзя признать совершенными, так как они, как правило, основаны на эмпирических формулах [4]. Кроме того, существующие расчетные формулы не учитывают пространственного распределения гряд по площади речного русла. Они дают наилучший результат в пределах основной полосы движения донных наносов [3, 8].

Следовательно, прогнозирование размыва берегов в течение расчетного периода эксплуатации связано со значительными трудностями. Для корректировки расчетов в каждом конкретном случае необходимо проводить дополнительные натурные гидрологические исследования [9].

Материал и методы исследований.

В настоящей работе использовались результаты многолетних натуральных наблюдений за руслообразующими процессами реки Ахтуба. Участок наблюдений расположен в средней части Волго-Ахтубинской поймы (Харабалинский район). Местоположение участка наблюдений (стабильная зона берега): широта – $47^{\circ}14'49.86''\text{С}$, долгота – $47^{\circ}13'47.33''\text{В}$. Ширина Ахтубы на исследуемом участке в меженный период около 140 м (рис. 1). Средняя глубина русла в 2019 году составляла 3-4 метра, глубина ямы с обратным течением выше стабильной зоны берега – около 6 м. Донные отложения представлены в основном мелкими песками, на мелководных и пойменных участках присутствуют глины и илы. Почвы участка наблюдений, являющегося бывшим прирусловым валом, песчаные (песок средней и мелкой фракций) с примесью ила. Выбор безопасного местоположения сооружений, расположенных в непосредственной близости от уреза воды, осуществлялся на основании изучения работ по речной гидравлике и русловым процессам [1-13]. В работе использовалась общедоступная программа GoogleEarthPro.

Результаты и обсуждение. На основании многолетних наблюдений было установлено, что при расчетном периоде эксплуатации небольшой продолжительности (порядка 10 лет) выбор безопасного местоположения расположенных в непосредственной близости от уреза воды сооружений возможен при использовании программ, дающих возможность сравнения исторических космоснимков разных лет, таких как GoogleEarthPro.

Для сравнения исторических фотографий берега острова, расположенного в Волго-Ахтубинской пойме, сделанных в 2005 и 2019 годах, по урезу воды на фотографии 2005 года было поставлено три точки (рис. 1). Координаты указанных точек следующие:

- точка 1: широта – $47^{\circ}14'57.99$ »С, долгота – $47^{\circ}13'41.90$ »В;
- точка 2: широта – $47^{\circ}14'49.86$ »С, долгота – $47^{\circ}13'47.33$ »В;
- точка 3: широта – $47^{\circ}14'43.24$ »С, долгота – $47^{\circ}13'47.90$ »В.

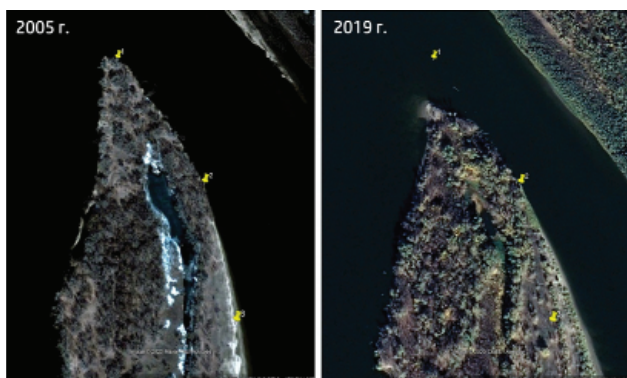


Рис. 1. Изменение очертаний береговой линии на примере острова, расположенного в среднем течении р. Ахтуба. Космоснимки 2005 и 2019 гг.

За 14 лет произошло значительное преобразование речного русла. В 2019 году расстояние от точки 1 до берега острова составляло порядка 100 м, следовательно, на протяжении указанного периода отмечен ежегодный размыв берега в среднем около 7 м. В месте расположения точки 3 во время паводка происходило регулярное отложение донных наносов. В 2019 году точка 3 располагалась на берегу, расстояние до уреза воды составляло около 35 м. Местоположение точки 2 относительно уреза воды в течение 14 лет практически не изменилось. Следовательно, в силу сложившихся условий, берег в районе точки 2 стабилен, здесь не наблюдается как явлений размыва, так и отложения донных наносов (стабильная зона берега).

Дополнительную информацию процесса преобразования речного русла и берега острова можно получить путем анализа фотографий, сделанных в 2019 году (рис. 2-4).

На фотографии размываемого берега (рис. 2) видны значительные берегообрушения, возникшие вследствие размывающего

действия, как потока, так и водоворота, образовавшегося выше стабильной зоны берега.

Вследствие действия водоворотного течения береговая линия становится неровной [10]. Так как водоворотные течения получают энергию от транзитного потока [11, 12], ниже водоворотной области наблюдаются потери напора, вследствие чего размывающая способность потока в районе стабильной зоны берега значительно снижается.



Рис. 2. Участок размываемого берега выше стабильной зоны берега. Поплавок расположен в месте ямы с обратным течением



Рис. 3. Берег в районе точки 3. Видны илстые отложения

Транспорт и аккумуляция донных наносов зависят от турбулентности речного потока. При превышении донной скоростью уровня несдвигающей для наносов данной крупности, включаются в действие подъемные пульсационные силы, вовлекающие в толщу потока все большее количество частиц. Следовательно, при условии, что расход наносов в данном сечении потока составляет q , а транспортирующая способность – q_t , если $q < q_t$, будет иметь место

размыв русла, при $q > q_r$ – аккумуляция наносов [13]. Из рисунка 3 видно, что транспортирующая способность в зоне точки 3 настолько низкая, что происходит аккумуляция не только песка мелких фракций, но и ила.

Между зоной размыва берега и зоной отложения наносов в нашем случае располагается место, где как процессы врезания реки в берег, так и аккумуляции наносов практически отсутствуют (рис. 4), о чем свидетельствует интенсивное зарастание берега непосредственно у уреза воды.



Рис. 4. Берег в районе точки 2 (стабильная зона берега)

Согласно Н.И. Маккавееву [10], спрямление излучины потоком наблюдается в случае, когда радиус кривизны, соответствующий данным гидравлическим характеристикам потока, больше радиуса изгиба русла. При этом происходит постепенный размыв выпуклого берега. Размыв берега в ряде случаев может идти настолько постепенно, что форма поперечного сечения русла остается почти такой же, как и при нормальном развитии излучин. Нечто подобное наблюдается в нашем случае, с той разницей, что в непосредственной близости от зоны стабильного берега выше по течению происходит образование водоворота. При отсутствии водоворота размыв берега происходит обычным порядком. По-видимому, обратное течение гасит энергию транзитного потока, вследствие чего донная скорость вблизи стабильной зоны берега падает до уровня несдвигающей для наносов данной крупности даже во время паводка.

Следует отметить, что наличие стабильных зон берега далеко не единичное явление, и не привязано к Волго-Ахтубинской пойме или к бассейну Волги. Такие стабильные зоны обнаружены с помощью

программы Google Earth Pro на Дону (широта 49°20'44.91»С, долгота 43° 4'41.04»В), Северной Двине (широта 63°34'10.20»С, долгота – 41°53'5.71»В) и Зее, бассейн Амура, (широта 50°49'48.37»С, долгота – 127°46'33.00»В). Протяженность стабильной зоны зависит от конкретных условий и не превышает нескольких десятков метров.

Качественные характеристики расположения стабильной зоны берега:

- нахождение на выпуклой части излучины;
- незначительное искривление излучины;
- наличие размываемого участка выше по течению;
- наличие выше по течению, в непосредственной близости от стабильной зоны берега ямы с обратным течением*;
- наличие участка осаждения наносов ниже по течению.



Рис. 5. Неровность береговой линии (на примере реки Ахтуба), свидетельствующая о наличии ям с обратным течением (водоворотов). Координаты центра снимка: широта 47°14'47.98»С, долгота – 47°14'23.52»В

Следовательно, составление прогноза размыва берегов, а также обнаружение

* ямы с обратным течением (водовороты) на космоснимках характеризуются неровностью береговой линии (рис. 5).

мест безопасного местоположения сооружений, расположенных в непосредственной близости от уреза воды, согласно требованиям «Рекомендаций по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства» [2] возможно на основании анализа исторических спутниковых фотографий разных лет при использовании общедоступных программ, таких как GoogleEarthPro. Не претендуя на универсальность, указанный метод может послужить отправной точкой для определения местоположения сооружений, в частности, площадок для размещения передвижных насосных станций, расположенных в непосредственной близости от уреза воды.

Выводы

1. Методы прогноза деформации берегов несовершенны, так как они, как правило, основаны на эмпирических формулах. Для корректировки расчетов в каждом конкретном случае необходимо проводить дополнительные натурные гидрологические исследования.

2. Процессы руслообразования, перестроения берегов можно наблюдать и в отдельных случаях прогнозировать путем сравнения исторических космоснимков разных лет.

3. Выбор безопасного местоположения сооружений, расположенных в непосредственной близости от уреза воды, возможен посредством анализа космоснимков, в частности, программы GoogleEarthPro.

4. Стабильная зона берега характеризуется нахождением на выпуклой части излучины незначительной кривизны с размываемым участком выше по течению и участком осадения наносов ниже по течению. Обязательным условием является наличие водоворота выше по течению, в непосредственной близости от стабильной зоны.

5. Указанный метод может послужить отправной точкой для определения безопасного местоположения сооружений, расположенных в непосредственной близости от уреза воды.

Библиографический список

1. Военно-морской словарь. – М.: Военное изд-во, 1989. – 511 с.
2. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства. – М.: Стройиздат, 1987. – 72 с.

3. Рекомендации по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод. ГГИ. – М.: Стройиздат, 1981. – 224 с.

4. **Барышников Н.Б.** Гидравлические сопротивления речных русел. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003. – 153 с.

5. **Щербаков А.О., Талызов А.А., Головинов Е.Э.** Моделирование речного стока в реках и водохранилищах / Сб. Мелиорация и окружающая среда. В 2 т. – М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2004. – С. 136-140.

6. Естественные и антропогенно обусловленные трансформации русел рек России (методология и география) / Алексеевский Н.И., Беркович К.М., Р.С. Чалов, Р.С. и др. / Сб. Эрозия почв и русловые процессы. Т. 18. – М.: Изд-во МГУ, 2012. – С. 149-172.

7. **Головинов Е.Э., Аминев Д.А.** Автоматизированная система мониторинга русловых деформаций и скорости водного потока / Сб. Мелиорация и водное хозяйство: Проблемы и пути решения. Мат-лы междунар. научно-практ. конф. – М.: ВНИИГиМ, 2016. – С. 63-67.

8. **Щербаков А.О., Ермаков Г.Г.** Метод пофракционного расчёта распределения наносов в русловом потоке // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5-6. – С. 69-73.

9. **Жезмер В.Б., Щербаков А.О.** Влияние растительности на процессы меандрирования и руслообразования в условиях Волго-Ахтубинской поймы // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 95-102.

10. **Маккавеев Н.И.** Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Геогр. фак. МГУ, 2003. – 352 с.

11. **Караушев А.В.** Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. – 418 с.

12. **Барышников Н.Б.** Гидравлические сопротивления речных русел. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003. – 153 с.

13. **Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 374 с.

Материал поступил в редакцию 14.04.2020 г.

Сведения об авторе

Жезмер Валентин Борисович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»; 127550, Москва, Б. Академическая, 44., корп. 2; e-mail: v1532133@yandex.ru

V.B. ZHEZMER

Federal state budgetary scientific institution «All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov», Moscow, Russian Federation

JUSTIFICATION OF CHOOSING A SAFE LOCATION OF HYDRAULIC STRUCTURES LOCATED IN CLOSE PROXIMITY TO THE WATER EDGE

Mobile pumping stations are cheaper than stationary stations and, which is important under modern conditions, do not need permanent security. For the installation of pumps, a foundation of concrete slabs is required. In order to comply with security measures, including environmental, as well as rational use of financial resources, the design period of the foundation operation must be established as about 10 years. That is, mobile pumping stations are located in places where the influence of coastal processes is minimal. To justify the construction safety of structures in the coastal zone of rivers, it is necessary to make a forecast of coastal deformation. When developing calculation methods, particular difficulties arise in the process of calculating parameters of flows at the channel turn. The reason is lack of our knowledge about the mechanism of flows motion not only on a complex bend but also on a single one. The methods for calculating hydraulic resistances on the channel bend during flows movement cannot be considered perfect since they, as a rule, are based on empirical formulas. Therefore, predicting the coast erosion during the estimated period of operation is associated with significant difficulties. To adjust the calculations in each case it is necessary to conduct additional field hydrological studies. Based on the long-term observations, it was found that the choice of a safe location of structures in the immediate proximity to the water edge is possible using programs that make it possible to compare historical space images of different years, such as Google Earth Pr. By analyzing space images it is possible to determine the location of the Stable coastal areas suitable for the location of structures in the immediate proximity to the water edge. The stable zone of the coast is characterized by a slight curvature on the convex part of the bend, with an eroded section upstream and a sediment deposition section downstream. The essential condition is the presence of a whirlpool upstream, in the immediate proximity to the stable coastal zone. The indicated method can serve as a starting point for determining the safe location of structures located in close proximity to the water edge.

Volga-Akhtubinskaya floodplain, forecasting of channel formation, historical space images, stable coastal zone, safe location of structures.

References

1. Voenno-morskoy slovar.. – M.: Voennoye izdatelstvo, 1989. – 511 s.
2. Rekomendatsii po otsenke i prognozu razmyva beregov ravninnykh rek i vodokhranilishch dlya stroitel'stva // PNIIS. – M.: Stroyizdat, 1987. – 72 s.
3. Rekomendatsii po razmeshcheniyu i proyektirovaniyu rasseivayushchikh vy-puskov stochnykh vod // Gos. gidrologich, in-t Goskomgidrometa. Stroyizdat. – M.: 1981. – 224 s.
4. **Baryshnikov N.B.** Gidravlicheskiye soprotivleniya rechnykh rusel. – SPb. Izd-vo RGGMU, 2003. – 153 str.
5. **Shcherbakov A.O., Talyzov A.A., Golovinov Ye.E.** Modelirovanie rechnogo stoka v rekakh i vodokhranilishchakh // Sb. Melioratsiya i okruzhayushchaya sreda Yubileyny sbornik nauchnykh trudov. V 2 tomakh. Rossiyskaya akade-miya selskokhozyaystvennykh nauk, Otdeleniye melioratsii, vodnogo i lesnogo khozyaystva, VNIIGiM im. A.N. Kostyakova. – M.: 2004. – S. 136-140.
6. Yestestvennyye i antropogenno obuslovlennyye transformatsii rusel rek Rossii / Alekseyevskiy N.I., Berkovich K.M., Chalov R.S. dr.. (metodologiya i geografiya) // Sb. Eroziya pochv i ruslovye protsessy, t. 18. – M., izd-vo MGU, 2012. – S. 149-172.
7. **Golovinov Ye.E., Aminev D.A.** Avtomatizirovannaya sistema monito-ringa ruslovykh deformatsiy i skorosti vodnogo potoka // Sb. Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo: Problemy i puti resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – 2016. – S. 63-67.
8. **Shcherbakov A.O., Yermakov G.G.** Metod pofraktsionnogo raschota raspredeleniya nanosov v ruslovom potoke // Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. 2014. – № 5-6. – S. 69-73.
9. **Zhezmer V.B., Shcherbakov A.O.** Vliyaniye rastitelnosti na protsessy me-andrirovaniya i rusloobrazovaniya v usloviyakh Volgo-Akhtubinskoy poymy // Prirodoobustroystvo. – 2019. – Vyp. 4. – S. 95-102.

10. **Makkaveyev N.I.** Ruslo reki i eroziya v yeye basseyne. M.: 2003, 352 str.

11. **Karaushev A.V.** Rechnaya gidravlika. – Gidrometeorologicheskoye izdatel'stvo. – L.: 1969. – 418 s.

12. **Baryshnikov N.B.** Gidravlicheskiye so-protivleniya rechnykh rusel. – Izd-vo RGGMU. – Sankt-Peterburg, 2003. – 153 s.

13. **Goncharov V.N.** Dinamika ruslovykh potokov. – Gidrometeoizdat L.: 1962. – 374 s.

The material was received at the editorial office
14.04.2020

Information about the author

Zhezmer Valentin Borisovich, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the laboratory of safety of hydraulic structures of irrigation and drainage complex FGBNU «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; 127550, Moscow, B. Academicheskaya, 44, korp. 2; e-mail: v1532133@yandex.ru

УДК 502/504:556.5:574.5:502

DOI 10.26897/1997-6011-2020-3-129-137

В.Н. МАРКИН, Л.Д. РАТКОВИЧ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОПУСКОВ ИСТРИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Проведен анализ влияния сельскохозяйственных угодий и регулирования стока в Истринском водохранилище на количество и качество водных ресурсов реки Истра. Оценка влияния сельскохозяйственного освоения водосбора показывает изменение объемов годового стока реки примерно на 6%. Исследуется отрицательное воздействие регулирования стока на трансформацию гидрографа реки в нижнем бьефе гидроузла, вызывающее многократное превышение экологически допустимых пределов, что сказывается на всем протяжении от гидроузла имени Куйбышева до устья реки Истры. Сделан прогноз изменения объемов вырабатываемой энергии на Истринской ГЭС с учетом экологических требований по сохранению гидрографа стока в нижнем бьефе. Отмечено снижение годовой выработки электроэнергии на 8,5%. Оценка экологического состояния водохранилища и реки Истра сделана на основании сравнения экологического состояния объектов в естественных условиях и фактического уровня трофности при существующей фосфорной нагрузке. Способ оценки экологического состояния водного объекта и влияния на него антропогенной нагрузки заключается в сопоставлении функции распределения показателей состояния среды. Определяется площадь перекрытия функций плотности распределения, дающая оценку вероятности сохранения естественного состояния, которая интерпретируется как степень сохранности экосистемы. Величина степени сохранности позволяет оценить допустимость внешнего антропогенного воздействия и достаточность водоохраных мероприятий. Соотношение показателей качества воды в водохранилище и в реке показывает примерно 40% соответствие, свидетельствуя о формировании специфической водной системы.

Водный объект, влияние водохранилища, влияние сельскохозяйственных земель, сток реки, качество воды, экологическое состояние, функция распределения.

Введение. Истринское водохранилище играет важную роль для Московского мегаполиса, поскольку входит в состав Москворецкой водной системы, которая вместе с Вазузской гидротехнической системой осуществляет компенсированное многолетнее регулирование Москвы-реки по отношению к створу Рублевского гидроузла (рис. 1). Раствующие экологические проблемы, связанные с изменением условий формирования

водного режима реки, процессами на водосборной площади и водопользованием, приводят к необходимости проведения специальных исследований. В связи с этим в работе проведен анализ Истринского водохранилища в части оценки изменения гидрологических условий и экологического состояния водохранилища.

Наличие малой ГЭС мощностью 3,06 МВт в составе гидроузла и обеспечение требований