

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ПОДТОПЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ БЕЛАРУСИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. Е. Левкевич¹, доктор технических наук
В. А. Мильман², кандидат физико-математических наук
С. В. Решетник², главный инженер проекта
А. А. Артемчик¹, аспирант

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,
²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведены результаты полевых исследований с использованием беспилотных летательных аппаратов для оценки масштабов и ширины подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси. Результаты оценок процессов подтопления и деформаций берегов с учетом данных, получаемых с помощью БПЛА, показали эффективность применения современных дистанционных методов.

Ключевые слова: подтопление, прибрежная территория, водохранилище, беспилотный летательный аппарат.

Abstract

V. E. Levkevich, V. A. Milman, S. V. Reshetnik, A. A. Artemchik

EVALUATING THE PARAMETERS OF THE FLOODING ZONE OF COASTAL TERRITORIES OF RESERVOIRS IN BELARUS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Some results of field studies on the assessment of the scale and width of flooding of the coastal areas of the reservoirs of Belarus with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs) are presented. The assessment results of flooding processes and coastal deformations according to the data obtained with the help of UAVs has proven the effectiveness of modern distance methods.

Keywords: flooding, coastal area, reservoir, unmanned aerial vehicle.

Общая часть

Наличие водохранилищ негативно влияет на прибрежные территории: например, гидродинамическое воздействие на берега (ветровое волнение, течения, колебания уровней, ледовые явления) вызывает развитие эрозионно-абразионных процессов, которые изучены достаточно подробно [1–3]. Однако, наряду с процессами деформации береговой линии вновь созданных водохранилищ, трансформируются гидрогеологические условия, что обусловлено подпором подземных вод, подтоплением и заболачиванием прибрежных территорий, изменением качества питьевых вод. Поэтому исследования, проводимые по данному направлению, весьма актуальны.

В статье рассмотрено воздействие подпора подземных вод на прилегающие территории (на примере водохранилища Витебской гидроэлектростанции).

Для оценки подтопления территории в прибрежной зоне водоемов различного хозяйственного назначения с применением беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) был выбран ряд тестовых водохранилищ: Заславское, Криницы, Дрозды, Волчковичское (Птичь), Чижовское, Дубровское, а также водохранилище Витебской ГЭС. Объекты, на которых проводились экспериментальные исследования, имели различные морфометрические характеристики, регулирование, линейные размеры, срок эксплуатации и тип наполнения (русловое, наливное, озерное) [1–4].

Строительство любого гидроузла, в состав которого входят подпорные сооружения в виде плотины, водосброса, ГЭС, вызывает быстрый подъем уровня воды в реке и ее протоках. При наполнении водохранилища поднимающийся уровень водной поверх-

ности оказывает значительное давление на водоносные горизонты в береговых склонах. Под действием гидростатического давления со стороны водоема сток (движение) подземных вод в подпертую реку прекращается. Одновременно вода из водохранилища начинает фильтроваться в затопленные почвы и грунты бортов речной долины. Вследствие фильтрации в породах различного гранулометрического состава возникает фильтрационный поток, направленный от водохранилища. Скорость фильтрации будет зависеть от водопроницаемости грунтов.

Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации k_f . Наименьший коэффициент фильтрации, полученный по данным геологических изысканий по проекту водохранилища Витебской ГЭС, проведенных ОАО «Белгипроводхоз», для глин – около 0,01 м/сут; песков – 2–50 м/сут, гравия и галечников – 20–500 м/сут. В результате инфильтрации из водохранилища уровень подземных вод в прибрежной зоне постепенно повышается [5–10]. Поскольку изменение режима грунтовых вод имеет большое значение для водоснабжения, строительства и других отраслей хозяйства, влияние водохранилищ на грунтовые воды изучается с помощью шахтных колодцев (при их наличии) и скважин, пробуренных на различных расстояниях от береговой линии.

Таким образом, в результате строительства гидротехнических подпорных сооружений поверхность подземных вод вблизи водохранилища приобретает криволинейную форму. Со временем, с одной стороны, за счет фильтрации, с другой, за счет постоянного притока с окружающей суши запасы подземных вод на побережье увеличиваются, а уровень их постоянно поднимается. Подобные явления типичны в основном для водохранилищ районов избыточного увлажнения, каковым является прибрежная зона водохранилищ. При недостаточном увлажнении в несвязных или слабосвязных грунтах после создания водоема возникает интенсивная инфильтрация, которая ведет к подъему уровня подземных вод за счет исключительно утечек из водоема.

Итак, на одних участках прибрежной зоны водохранилища зона влияния достигает своих

максимальных размеров уже в первые годы эксплуатации, на других процесс подпора растягивается на последующий период. Изменения уровня верхнего бьефа водохранилища передаются подземным водам. Внешняя граница зоны подтопления, где колебания уровня подземных вод затухают, может быть расположена на расстоянии 1–4 км от уреза верхнего бьефа.

Подтопление земель, прилегающих к водохранилищу, обусловлено как подъемом уровня воды при заполнении водохранилища до нормального подпорного уровня, так и, соответственно, изменением уровня грунтовых вод. Основной потенциальный ущерб от подтопления земель и в целом от трансформации режима грунтовых вод связан с возможностью заболачивания территорий, изменением свойств почв, растительного и животного мира [4, 5, 7–11].

В зависимости от высоты подтопления (залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли), изменения почв и растительности в водохозяйственном строительстве выделяют [3, 4, 10, 11] подзоны сильного, умеренного и слабого подтопления, влияние которых на прибрежные экосистемы, почвенные условия, лесные и сельскохозяйственные угодья определяется природными особенностями района расположения водохранилища. Залегание уровня грунтовых вод от поверхности земли ориентировочно может составлять в подзоне сильного подтопления от 0 до 1,2 м, умеренного – до 2, слабого – до 3,0 м [4, 10, 11].

Наиболее часто подвержены заболачиванию участки сильного подтопления побережий водохранилищ, расположенных в центральной и южной частях Беларуси. Как правило, при подтоплении прибрежной зоны не подлежат отчуждению земли, кроме зоны сильного подтопления: они продолжают использоваться в различных хозяйственных целях (рекреации, земледелия, луговодства и т. д.).

Как показали обследования авторов, общая площадь подтопления прибрежных территорий отдельно взятым водохранилищем страны (без учета польдерных систем) в зависимости от природных условий может составлять в условиях Беларуси до 15 % площади водохранилища [4, 8–11].

Методика исследований

Методика исследований прибрежной зоны, подверженной подтоплению, заключалась в проведении наземных съемок по заранее подготовленной системе разбитых контрольных створов; съемке тех же участков территории с помощью БПЛА; дальнейшем сравнении и сопоставлении результатов обследования. Для проведения дистанционной съемки использовался БПЛА – квадрокоптер модели DJI *Phantom 3 Professional*. Данный аппарат профессиональной серии оборудован цифровой 12-мегапиксельной камерой, позволяющей

выполнять видеосъемку формата HD и делать фотографии соответствующего качества.

Внешний вид квадрокоптера показан на рис. 1. Обработка полученных данных съемки выполнялась с помощью специального программного обеспечения.

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэро-съемок с БПЛА, были использованы материалы наземного мониторинга, а также тестовых водных объектов из прибрежной зоны [1–4].



Рис. 1. Квадрокоптер модели DJI *Phantom 3 Professional*

Обсуждение результатов исследований

В зависимости от морфометрических характеристик водного объекта (рис. 2), а именно от площади зеркала при отметках нормального подпорного уровня (далее – НПУ), полного объ-

ема, распределения глубин, состава грунтов, их фильтрационных свойств и формы береговых склонов, ширина зоны подпора изменяется в значительных пределах (табл. 1, 2) [2, 4, 6–12].



Рис. 2. Подтопление территорий в береговой зоне водохранилища Витебской ГЭС

Таблица 1. Зоны подтопления водохранилищ Беларуси [2, 4]

Область	Площадь водохранилищ, км ²				Зона подтопления, км ²			
	озерных	русловых	наливных	всего	сильного	умеренного	слабого	всего
Витебская	326,5	9,2	0,2	335,9	1,8	5,5	10,5	17,8
Минская	24,5	187,0	29,3	240,8	42,8	127,3	17,9	198,0
Могилевская	–	48,4	2,5	50,9	3,2	19,7	10,4	33,3
Гомельская	–	5,5	7,1	12,6	0,9	6,2	2,0	9,1
Гродненская	–	21,9	3,8	25,7	3,0	12,9	4,0	19,9
Брестская	–	27,7	44,6	72,3	3,5	23,4	9,2	36,1
Всего	3351,0	299,7	87,5	738,2	55,2	205,0	54,0	314,2

Таблица 2. Характеристика зоны распространения подпора грунтовых вод [4, 9]

Водохранилище	Морфометрические показатели		Зона распространения грунтовых вод, км	Максимальная величина подпора, м
	площадь зеркала, км ²	полный объем, млн м ³		
Заславское	31,1	108,5	1,0–1,5	1,1
Саковщинское	1,05	1,5	0,05–0,5	0,5
Солигорское	23,1	55,9	1,0–2,0	1,7
Ключегорское	0,4	1,2	0,3–0,5	0,6
Добромысленское	1,16	2,25	0,25–0,7	0,8
Бобруйковское	1,22	1,83	0,1–0,25	0,7
Млынокское	1,44	2,29	0,1–0,3	0,8
Гезгальское	1,21	1,21	0,2–0,5	0,5
Локтыши	15,9	50,2	0,1–0,4	1,0

Максимальная ширина распространения подпора грунтовых вод в береговой зоне в условиях водохранилищ Беларуси достигает 2,0 км (табл. 2) [4, 9]. Однако анализ данных, полученных на режимной сети наблюдений на водохранилище Витебской ГЭС и карьере ОАО «Доломит», находящемся на правом берегу, показал, что влияние водного объекта может составлять величину более 3,50 км.

Наиболее детальный прогноз подъема (иначе – подпора) УГВ обычно выполняют организации, проектирующие водохозяйственные и мелиоративные объекты, в состав которых входят водохранилища или пруды. При этом для прогнозирования используются исходные данные, основанные на топографических, инженерно-гидрогеологических и других изысканиях [6, 13–15]:

- топографический план (в масштабе от 1:25 000 до 1:5 000) с сечением горизонталей через от 1 до 5 м в зависимости от масштаба и с нанесением на него линии уреза водохрани-

лища при нормальном подпорном горизонте воды;

- данные о сооружениях, располагающихся в зонах возможного подтопления, затопления и подпора грунтовых вод;

- данные об изменениях во времени горизонта воды в водохранилище во время паводков и в меженные периоды;

- материалы геологических и гидрогеологических изысканий на рассматриваемой территории.

В процессе эксплуатации водохранилища происходят различные изменения: а) уровня режима подземных вод, б) глобальные и локальные, в) вызванные хозяйственной деятельностью человека. Поэтому с практической точки зрения важно иметь возможность выполнять оперативный прогноз подпора, исходя из текущей ситуации, при этом прогноз является оценочным и не требует таких больших затрат, как прогноз в процессе проектирования водохранилища.

При горизонтальном залегании водоупора прогноз подпора между двумя водными объектами в условиях равнинных водохранилищ рассчитывается по формуле Г. Н. Каменского для условий установившегося движения грунтовых вод как наиболее типичного [4, 6, 7, 14]:

$$y = \sqrt{h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L} + (y_2^2 - h_2^2) \frac{x}{L}}, \quad (1)$$

где h – глубина потока грунтовых вод до подпора в расчетном сечении, находящемся на расстоянии x от берега первого водного объекта;

y – то же при подпоре;

h_1 – глубина потока грунтовых вод у первого объекта до подпора;

y_1 – то же после подпора;

h_2 – глубина потока грунтовых вод во втором объекте до подпора;

y_2 – то же после подпора;

L – расстояние между водными объектами.

Все величины, используемые в (1), измеряются в метрах и показаны на рис. 3.

В рассматриваемом случае первым водным объектом, изображенным на схеме, является водохранилище руслового типа. Вторым водным объектом может быть другое водохранилище, пруд, река или залив первого водохранилища, где производятся измерения уровня грунтовых вод.

При наиболее распространенном подпоре на водохранилищах Беларуси, когда уровень воды во втором водном объекте не изменяется или изменяется мало по сравнению с изменением уровня в водохранилище, расчет выполняется по упрощенной формуле вида [7, 13, 14]:

$$y = \sqrt{h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L}}. \quad (2)$$

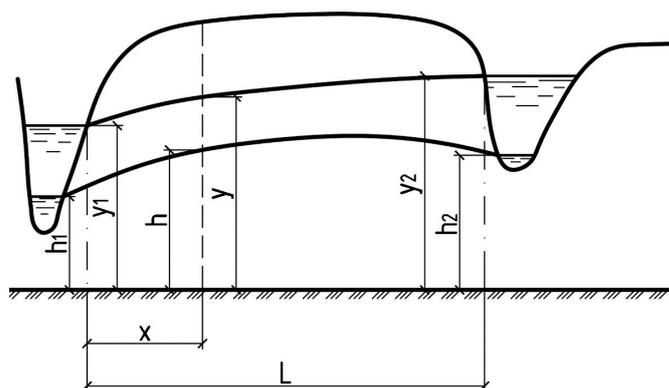


Рис. 3. Схема подпора грунтовых вод (общий случай)

В случае расположения второго водного объекта на значительном расстоянии от берега исходного водохранилища предлагается следующая формула [13–14]:

$$y = \sqrt{h^2 + y_1^2 - h_1^2}. \quad (3)$$

В этой формуле нет явной зависимости y от x . Такая зависимость может быть, если существует зависимость h от x , но авторы статьи рассматривают лишь тот случай, когда h от x не зависит.

Примем значение $L = 1200$ м. Считаем, что на таком расстоянии влияние на УГВ колебания уровня воды в водохранилищах сказывается незначительно.

Для расчетов прогноза подпора по формулам (1)–(3) была написана программа на языке Си в системе *Visual Studio*. Результаты расчетов приведены в табл. 3–5. Исходные значения параметров взяты из реальных условий работы в Беларуси водохранилищ руслового типа. Все параметры и результаты в указанных таблицах приведены в метрах.

По всем тестовым водохранилищам руслового типа в период 2021–2022 гг. были проведены дистанционные съемки по обоим берегам. Съемки выполнялись во время стояния нормального подпорного уровня (далее – НПУ) во всех водохранилищах, высота съемок при этом колебалась от 75 до 100 м [15, 16–18].

При экспериментальных обследованиях тестовых водных объектов на прибрежных береговых полосах, кроме наземной съемки, параллельно осуществлялась съемка высокого разрешения с БПЛА прибрежной зоны вышеуказанных водных объектов. Данная съемка, последующая обработка и анализ данных наземных полевых обследований и дистанционных материалов позволили предварительно установить зоны фактического подтопления территории и сравнить их с расчетными.

Таблица 3. Результаты прогнозных расчетов подпора по формуле (1)

$L = 500,0; h = 1,5; h_1 = 1,0; y_1 = 4,0; h_2 = 1,5; y_2 = 3,0$			
x	y	x	y
10,0	4,13	100,0	3,95
20,0	4,11	110,0	3,93
30,0	4,09	120,0	3,91
40,0	4,07	130,0	3,89
50,0	4,05	140,0	3,87
60,0	4,03	150,0	3,84
70,0	4,01	160,0	3,82
80,0	3,99	170,0	3,80
90,0	3,97	180,0	3,78
$L = 500,0; h = 1,5; h_1 = 1,0; y_1 = 3,0; h_2 = 2,0; y_2 = 3,0$			
20,0	3,18	160,0	3,05
40,0	3,16	180,0	3,03
60,0	3,14	200,0	3,01
80,0	3,13	220,0	2,99
100,0	3,11	240,0	2,97
120,0	3,09	260,0	2,95
140,0	3,07	280,0	2,93
$L = 500,0; h = 2,0; h_1 = 1,0; y_1 = 5,0; h_2 = 2,0; y_2 = 4,0$			
20,0	5,25	140,0	4,96
40,0	5,20	160,0	4,92
60,0	5,15	180,0	4,87
80,0	5,11	200,0	4,82
100,0	5,06	220,0	4,77
120,0	5,01	240,0	4,72

Таблица 4. Результаты прогнозных расчетов подпора по формуле (2)

$L = 500,0; h = 1,5; h_1 = 1,0; y_1 = 3,0$			
x	y	x	y
10,0	3,18	100,0	2,94
20,0	3,15	110,0	2,91
30,0	3,13	120,0	2,89
40,0	3,10	130,0	2,86
50,0	3,07	140,0	2,83
60,0	3,05	150,0	2,80
70,0	3,02	160,0	2,77
80,0	2,99	170,0	2,74
90,0	2,97	180,0	2,71
$L = 500,0; h = 2,0; h_1 = 2,0; y_1 = 5,0$			
10,0	4,96	100,0	4,56
20,0	4,92	110,0	4,51
30,0	4,87	120,0	4,47
40,0	4,83	130,0	4,42
50,0	4,79	140,0	4,37
60,0	4,74	150,0	4,32
70,0	4,70	160,0	4,28
80,0	4,65	170,0	4,23
90,0	4,61	180,0	4,18

Таблица 5. Результаты прогнозных расчетов подпора по формуле (3)

x	y	x	y
20,0	4,97	110,0	4,84
30,0	4,96	120,0	4,82
40,0	4,94	130,0	4,81
50,0	4,93	140,0	4,79
60,0	4,91	150,0	4,78
70,0	4,90	160,0	4,76
80,0	4,88	170,0	4,75
90,0	4,87	180,0	4,73
100,0	4,85	190,0	4,71

Маркерами, позволившими определить ширину зоны подтопления, являлись ореолы травянистой и высшей древесной растительности, которые коррелируют с шириной зон подтопления в зонах заболачивания определенной цветовой гаммы.

Предварительная обработка видео- и фотоматериалов полевых исследований показыва-

ла, что ширина зоны подтопления колеблется от 50 м (водохранилища Криницы, Птичь, Дубровское) до 500 м (водохранилища Петрови-чи, Заславское) и может достигать 1300 м для больших водохранилищ (правый берег водохранилища Витебской ГЭС,) Границы зон подтопления различных водохранилищ видны на снимках, представленных на рис. 4–7.



Рис. 4. Подтопление правого берега водохранилища Криницы



Рис. 5. Подтопление правого берега водохранилища Птичь



Рис. 6. Подтопление правого берега водохранилища Петрови-чи



Рис. 7. Подтопление левого берега водохранилища Витебской ГЭС

Граница распространения подпора подземных вод определялась по данным анализа съемок с БПЛА путем выявления полос с измененным цветом растительности (в зоне подтопления более насыщенная цветовая гамма). К тому же, в зоне подпора преобладают, как правило, травянистые виды растительности, а древесные формы находятся в угнетенном состоянии. Полученная видео- и фотоинформация затем дешифрировалась.

На основании набора аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, была создана трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (далее – ЦМР). Для создания указанной модели местности и ЦМР использовалась программа *Agisoft PhotoScan* [16, 17].

Начальный этап создания трехмерной модели местности – это импорт фотоматериалов, настройка параметров и калибровка фотокамеры. Далее определялись координаты центров снимков и выполнялась расстановка на исходных снимках маркеров, с помощью которых модель трансформировалась. После расстановки маркеров на всех снимках указывались их координаты.

Следующий этап – автоматическое построение трехмерной модели местности. Заключительный этап – построение текстуры модели и процесс «насаживания» ее на трехмерную модель (драпировка). В результате указанных действий получалась трехмерная модель местности.

Фрагмент ЦМР показан на рис. 8. Затем на основании полученных данных строилась ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями, и получалась следующая картографическая продукция: трехмерная модель местности, цифровая модель рельефа и орто-

фотоплан. Данные виды продукции пригодны для целей картографирования, инженерных изысканий, а также прогнозных расчетов.

Результаты полевых натурных исследований позволяют говорить о возможности применения таких дистанционных средств, как, в частности, БПЛА для сбора оперативной информации, необходимой для мониторинга прибрежных территорий и эксплуатации водных объектов страны.

Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях и в процессе обработки снимков с БПЛА, приведен в табл. 6. Там можно видеть итоги сравнения прогнозных расчетов – согласно (1)–(3) – подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий тестовых водохранилищ, а также реальных параметров подтопления побережий, полученных с помощью БПЛА.

Как следует из данных, приведенных в табл. 6, точность зафиксированных параметров объектов, подверженных съемкам с БПЛА (значений ширины зоны подтопления), является достаточной, обеспечивающей среднюю погрешность в пределах 15 %, что допустимо для проведения практических инженерных расчетов.

Итак, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что регистрация и наблюдение за развитием процесса подтопления естественных берегов водохранилищ с помощью беспилотных радиоуправляемых квадрокоптеров, оснащенных камерами с высоким разрешением, возможны. Результаты получаются точные, что подтверждает сравнение как измеренных наземных данных и прогнозных расчетов, так и полученных с помощью БПЛА.



Рис. 8. Трехмерная ЦМР модель прибрежной зоны водохранилища [16, 17]

Таблица 6. Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод в прибрежной зоне

Тестовый водоем (водохранилище)	Прогноз подпора УГВ по тестовым участкам		Данные съемки с БПЛА	Погрешность, %
	высота подпора на расстоянии 20 м от уреза воды, м	ширина зоны подтопления, м	ширина зоны подтопления, м	
Заславское	0,40	75,0	65,0	13,3
Дубровское	0,50	35,0	35,0	0
Чижовское	0,30	40,0	42,0	5
Волковичское	0,40	40,0	35,0	12,5

Заключение

На основе материалов натурных обследований и наблюдений, а также съемок с БПЛА на тестовых водохранилищах были определены прогнозные зависимости, достаточные для моделирования береговых процессов и подтопления территорий, вызванного подпором грунтовых вод. Предложен метод построения цифровой модели местности, который может быть использован для расчета и прогноза процесса подтопления прибрежных территорий.

Выполненное обследование и аэрофото-съемки с БПЛА позволили оценить степень подтопления и заболачивания прибрежных

территорий русловых водохранилищ. Результаты оценок процессов подтопления и деформаций берегов с учетом данных, получаемых с помощью БПЛА, показали эффективность применения современных дистанционных методов. Разработанные алгоритмы и программные средства для интерпретации фотоматериалов могут быть в дальнейшем использованы совместно с любой геоинформационной системой (ГИС-системой) как в качестве основы при проектировании водных объектов, так и базы при оценке экологического состояния территорий.

Библиографический список

1. Оценка сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения средствами дистанционной диагностики / В. Е. Левкевич, А. В. Бузук, В. А. Лосицкий, В. А. Мильман, С. В. Решетник, Ф. Н. Саидов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та и 50-летию фак-та инженер. систем и экологии, Брест, 7–8 окт. 2021 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред.: А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 45–54.

2. Использование средств дистанционной диагностики для мониторинга состояния водохозяйственных объектов и сооружений систем водоснабжения и водоотведения /

- В. Е. Левкевич, В. А. Лосицкий, Ф. Н. Саидов, В. А. Мильман, С. В. Решетник // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2021. – № 1. – С. 96–100.
3. Левкевич, В. Е. Гидроморфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 143 с.
4. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2020. – 152 с.
5. Защита территорий от затопления и подтопления / С. К. Абрамов [и др.]. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 424 с.
6. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила определения прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках : ТКП 17.06-06-2012 (02120). – Введ. 16.01.12. – Минск : ЦНИИКИВР, 2018. – 37 с.
7. Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий / С. К. Абрамов [и др.]. – Москва : Госстройиздат, 1960. – 319 с.
8. Ересько, М. А. Оценка подтопления прибрежных территорий и качества подземных вод в зоне влияния водохранилища Витебской гидроэлектростанции / М. А. Ересько, В. Е. Левкевич, Н. В. Макаревич // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сб. тр. по материалам докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 февр. 2022 г. / Ин-т ЖКХ Нац. акад. наук Беларуси ; под общ. ред. В. О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 136–144.
9. Ересько, М. А. Комплексная оценка состояния гидросеры территории мезоуровня / М. А. Ересько, В. Е. Левкевич, К. А. Кечик // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сб. тр. по материалам докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 февр. 2022 г. / Ин-т ЖКХ Нац. акад. наук Беларуси ; под общ. ред. В. О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 132–135.
10. Роль водохранилищ в изменении природных условий / С. Л. Вендров, А. Б. Авакян, К. Н. Дьяконов, А. Ю. Ретеюм. – Москва : Знание, 1968. – 47 с.
11. Вендров, С. Л. Изменение рельефа берегов и дна Цимлянского водохранилища в 1952–1956 гг. // Изв. Акад. наук СССР. Сер. географическая. – 1957. – № 3. – С. 75–80.
12. Савкин, В. М. Искусственные пляжи для берегоукрепления и комплексного использования прибрежной зоны на Новосибирском водохранилище / В. М. Савкин, К. В. Марусин, Е. А. Федорова // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов : тр. Междунар. конф., Новосибирск, 20–25 июля 2009 г. / Сибир. отд. РАН. ; отв. ред. А. Ш. Хабидов. – Новосибирск, 2009. – С. 255–261.
13. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработки берегов водохранилищ Сибири / С. Г. Бейром [и др.] ; науч. ред.: С. Г. Бейром, В. М. Широков. – Новосибирск : СибНИИЭ, 1972. – 36 с.
14. Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель / А. Г. Емельянов, Д. П. Инаров, Г. Н. Петров, Г. А. Михальцова. – Ленинград : ВНИИГ, 1978. – 88 с.
15. Крашников, А. Ф. Руководство по изучению динамики размыва берегов рек при инженерных изысканиях методом наземной фототопографической съемки / А. Ф. Крашников, В. К. Львов, А. А. Тинт. – Москва : Стройиздат, 1983. – 67 с.
16. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ / Г. И. Скрипка, Л. А. Беспалова, О. В. Ивлиева, В. В. Сапрыгин, А. А. Филатов // Водные ресурсы России: современное состояние и управление : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф., Сочи, 8–14 окт. 2018 г. : в 2 т. // Федер. агент-во вод. ресурсов. – Новочеркасск : ООО «Лик», 2018. – Т. 1. – С. 298–305.
17. Болсуновский, М. А. Система спутников ДЗЗ SPOT / М. А. Болсуновский // Геопрофи. – 2005. – № 3. – С. 19–21.
18. Копосов, Е. В. Прогнозирование абразионной и оползневой опасности побережий Волжских водохранилищ / Е. В. Копосов, И. С. Соболев, А. Н. Ежков // Вестн. МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 170–188. Doi: 10.22227/1997-0935.2013.6.170-188

Поступила 16 февраля 2023 г.