

намного более значимо в средней и приплотинной частях водохранилищ, когда как, в верховьях водоемов более значимым фактором, затрудняющим эксплуатацию водозабора, является зарастание водоема и образование донных органических отложений.

УДК 574+ 504 (576)

Экспресс-оценка воздействия водохранилищ Беларуси на прилегающие территории с помощью беспилотных летательных аппаратов

Левкевич В. Е.¹, Артемчик А. А.¹, Мильман В. А.², Решетник С. В.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Объединенный институт проблем информатики (ОИПИ) НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Приведены некоторые результаты полевых исследований по оценке масштабов и ширины подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси и деформации-размыву берегов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

Создание водохранилищ оказывает значительное воздействие на прибрежные территории, что выражается в развитии различных негативных процессов. Например, гидродинамическое воздействие на берега (ветровое волнение, течения, колебания уровней, ледовые явления) вызывает развитие эрозионно-абразионных процессов [1]. Однако, наряду с процессами деформации береговой линии водохранилищ изменения гидрогеологических условий, обусловленных подпором подземных вод, подтоплением и заболачиванием прибрежных территорий.

Для экспресс-оценки подтопления территории в прибрежной зоне водохранилищ и разрушения – переработки берегов с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) был выбран ряд тестовых водохранилищ: Заславльское, Криницы, Дрозды, Волчковичское, Чижовское, Дубровское, а также водохранилище Витебской ГЭС. Водоохранилища, на которых проводились экспериментальные исследования, имели различное регулирование, морфометрические характеристики, линейные размеры, срок эксплуатации и тип наполнения [1; 2].

При наполнении водохранилища, поднимающийся уровень водной поверхности 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 у глин – около 0,01 м/сут, т. е. вода в глине за сутки успевает пройти расстояние в 1 см. С увеличением размеров пор коэффициент фильтрации увеличивается: для 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 [1]. Поскольку изменение режима грунтовых вод имеет большое значение для водоснабжения, строительства и других отраслей хозяйства. Наряду с подтоплением активно развивается абразия – переработка берегов.

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, 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 эксплуатации. 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 водохранилища.

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 изменения режима грунтовых вод связан с возможностью заболачивания территорий, изменением свойств почв, растительного и животного мира [1]. Общая площадь подтопления земель равнинными водохранилищами в зависимости от природных условий может составлять на водоемах Беларуси – до 15 % площади водохранилища [1].

Методика исследований прибрежной зоны, подверженной подтоплению и абразии состояла в сравнении данных наземных съемок, проведенных по

заранее подготовленной системе разбитых контрольных створов и материалов съемок, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). 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 HD качества.

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэросъемок с БПЛА были привлечены материалы наземного мониторинга, прибрежной зоны тестовых водных объектов, полученные ранее [1–3].

Обработка видео и фотоматериалов полевых исследований показала, что ширина зоны подтопления колеблется от 50 м (водохранилища Криницы, Птичь, Дубровское) до 500 м (водохранилища Петровичи, Заславское) и может достигать 1300 м для относительно крупных водохранилищ страны (водохранилище Витебской ГЭС, правый берег).

Граница распространения подпора подземных вод определялась по данным анализа съемок с БПЛА путем выявления полос изменения цвета растительности, имеющих в зоне подтопления более насыщенную цветовую гамму. К тому же, в зоне подпора, как правило, преобладают травянистые виды растительности, древесные формы находятся в угнетенном состоянии.

На основании набора полученных с БПЛА аэрофотоснимков была создана трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (ЦМР). Для создания трехмерной модели местности и цифровой модели рельефа (ЦМР) была использована программа Agisoft PhotoScan. Затем на основании полученных данных строилась ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями. В результате получалась следующая картографическая продукция: трехмерная модель местности, цифровая модель рельефа и ортофотоплан. Данные виды продукции пригодны для целей картографирования, инженерных изысканий, а также прогнозных расчетов.

Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях и данных, полученных в процессе обработки снимков с БПЛА, дан в табл. 1–2. В таблицах приведены результаты сравнения прогнозных расчетов подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий и переработки берегов тестовых водохранилищ и реальных параметров подтопления побережий и деформаций берегов, полученных с помощью БПЛА.

Таблица 1

Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод на тестовых водоемах и данных БПЛА

Тестовое водохранилище	Прогноз подпора подземных вод 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 (Птичь)	0,40	40,0	35,0	12,5

Таблица 2

Сравнение результатов натуральных измерений переработки берегов тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водохранилище	Измеренная средняя линейная переработка, (St), м	Данные съемки о линейной переработке с БПЛА, (St), м	Погрешность %
Заславское водохранилище	8,50	8,0	5,9
Дубровское водохранилище	4,50	4,0	11,10
Чижовское водохранилище	5,30	5,0	5,70
Волковичское водохранилище (Птичь)	4,0	3,5	12,5

На рис. 1–2 приведены материалы съемки абразионного процесса в Заславском водохранилище и подтопления территории на водохранилище Петровичи.



Рис. 1. Заславское водохранилище. Правый берег. Абразия берега



Рис. 2. Водохранилище Петровичи. Подтопление левого берега

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что: регистрация и наблюдение за развитием процесса подтопления и переработки естественных берегов водохранилищ с помощью беспилотных аппаратов возможны. Причем результаты получаются высокой точности, что подтверждают, как измеренные наземные данные и прогнозные расчеты, так и полученные БПЛА.

Литература

1. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: Право и экономика, 2020. – 152 с.

2. Левкевич, В. Е. 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 / Сборник Трудов науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию создания Брестского государственного технического университета. 6–7 октября 2021 г. – Брест, БрГТУ. – 2021. – С. 45–54.

3. Левкевич, В. Е. Оценка параметров зоны подтопления прибрежных территорий Беларуси с помощью беспилотных летательных аппаратов / В. Е. Левкевич, В. А. Мильман, С. В. Решетник, А. А. Артемчик // Мелиорация. – 2021. – Т. 103, вып. 1. – С. 21–33.