Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 3. С. 42–49

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.435.3

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Г.И. Скрипка[1], А.Е. Косолапов[2], О.В. Ивлиева[3], Л.А. Беспалова[4], Т.А. Калиманов[5], В.В. Сапрыгин[6], А.А. Филатов[7]

[1–7] *Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНИВХЦ), Ростов-на-Дону*

[1] *Заведующий отделом НИР и ОКР по восстановлению и охране водных объектов, канд. геол.-минерал. наук; e-mail: skripka.grisha@yandex.ru*
[2] *Директор, д-р техн. наук; e-mail: rwec@rwec.ru*
[3] *Гл. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: ivlieva.o@mail.ru*
[4] *Гл. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru*
[5] *Зав. отделом обеспечения ведения государственного реестра и автоматизированных информационных систем, канд. техн. наук; e-mail: rwec@rwec.ru*
[6] *Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: vv.saprygin@gmail.com*
[7] *Вед. инженер сектора моделирования водохозяйственных систем; e-mail: AntonFGURostov@yandex.ru*

Показана перспективность использования беспилотных летательных аппаратов при осуществлении мониторинга берегов водохранилищ, особенно не оборудованных пунктами наблюдения сети ГМВО. Для ряда участков берегов Цимлянского водохранилища с использованием способов взаимной привязки аэроснимков по опорным точкам и последовательного, поинтервального, параллельного рассмотрения разновременных ортофотопланов выполнена оценка последствий активизации абразионной деятельности, выразившихся в отступании бровки береговых обрывов и сокращении земельного фонда.

Первым способом, обеспечивающим точность наблюдения в пределах 10 см, на нескольких участках выделены периоды смещения бровки береговых обрывов на 5–30 м, приведшие к сокращению земельного фонда на величину от 2,8 до 22 тыс. м^2, и периоды стабилизации, когда положение бровки обрывов практически не изменялось.

Вторым способом уверенно выделены интервалы активизации экзогенных геологических процессов (ЭГП), в результате которых произошло отступание берегового обрыва на 1 м и более.

Показано, что наиболее значительные изменения конфигурации берегового склона произошли в результате прохождения шторма в мае 2018 г. при нормальном подпорном уровне (НПУ) в районе хуторов Овчинников и Веселый и станицы Нагавской. Вероятно, в этот же период произошло отступание берегов на величину до 5–10 м на нескольких участках в районе садового товарищества «Винзавод» и интервала от восточного мыса Жуковского залива до створа ст. Баклановской.

Установлено, что стабилизация береговой линии совпадает с периодами положения уровня воды в водохранилище на 1–2 м ниже НПУ и отсутствием обильных атмосферных осадков. В эти периоды интенсивность экзогенных геологических процессов заметно снижается. Основными формами ее проявления являются трещины отрыва, проходящие на расстоянии до первых метров от бровки обрыва; обрушения небольших блоков горных пород; образование небольших оплывин.

Ключевые слова: мониторинг положения бровки берегового обрыва, потеря земель, опорные точки, взаимное позиционирование ортофотопланов

ВВЕДЕНИЕ

Значительная по протяженности часть берегов Цимлянского водохранилища относится к абразионным типам: абразионные, абразионно-обвальные, абразионно-осыпные, абразионно-оползневые [Косолапов и др., 2017]. Они характеризуются высокой степенью изменчивости, обусловленной активным проявлением абразии, а также интенсивностью проявления эрозионных и гравитационных склоновых процессов.

Пункты наблюдения сети государственного мониторинга водных объектов (ГМВО) в подавляющем большинстве располагаются вблизи хозяйственных и жилых объектов и не могут обеспечить получения объективной информации о ходе и результатах процессов берегоформирования на всем протяжении береговой линии водного объекта. Более того, в силу дискретного по простиранию характера проявления геологических склоновых процессов даже существенные изменения состояния берегов, включая обрушения крупных блоков горных пород, происходящие на небольшом удалении от створов наблюдательной сети, не отражаются в информационной базе ГМВО.

Указанные причины препятствуют выполнению в полном объеме таких важных задач государственного мониторинга водных объектов, как оценка и прогноз изменения берегов, разработка и реализация мер по предотвращению негативных последствий воздействия вод на их состояние.

В последнее десятилетие для изучения геоморфологии берегов водных объектов все активнее используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [Крыленко, Крыленко, 2020; Лучников и др., 2018; Turner et al., 2016; Topouzelis et al., 2017; Papakonstantinou et al., 2016; Seymour et al., 2018]. Однако большинство этих исследований посвящено наблюдениям за состоянием морского побережья.

ФГБУ РосИНИВХЦ с 2017 г. осуществляет мониторинговые исследования берегов Цимлянского водохранилища с помощью БПЛА, а для анализа полученных материалов используется инструментарий ГИС-технологий.

Цель настоящей работы – показать возможность повышения эффективности, полноты и достоверности мониторинга берегов водохранилищ за счет широкого внедрения в практику ГМВО использования беспилотных летательных аппаратов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи по материалам съемок участка берега водохранилища, выполненным через определенный интервал времени БПЛА модели Phantom 4 Pro с высоты 100 м над поверхностью земли, строились ортофотопланы территории с использованием программного обеспечения Agisoft Metashape. Затем для выявления изменений берегов, произошедших между съемками, осуществлялось сопоставление разновременных ортофотопланов.

Ранее нами были показаны возможности ГИС-технологий для визуализации по материалам, полученным с использованием БПЛА, положения бровки береговых обрывов, величины ее смещения, определения площади земель, утерянных в результате разрушения берегов [Скрипка и др., 2019; Скрипка и др., 2018].

Сопоставление разновременных ортофотопланов с целью оценки изменения положения бровки и других характеристик берегов (в зависимости от наличия объектов, используемых в качестве опорных точек) осуществлялось двумя способами:

– при наличии достаточного количества опорных точек способом абсолютной или относительной взаимной привязки снимков в постобработке;

– способом визуального сопоставления материалов с грубой привязкой снимков, т. е. последовательного, поинтервального, параллельного рассмотрения разновременных ортофотопланов, обеспечивающих изображение территории в масштабе от 1:3000 и крупнее.

В качестве опорных точек использованы антропогенные объекты в населенных пунктах и реперы, специально установленные для наблюдения с БПЛА. Реже использовались природные объекты, не менявшие своего положения за период наблюдения. Контрольные наземные измерения показывают, что совмещенные по опорным точкам ортофотопланы обеспечивают точность наблюдения (в зависимости от условий съемки) от первых сантиметров до 10 см.

Последовательное и параллельное сопоставление разновременных ортофотопланов использовалось для участков побережья, на которых не удалось выявить в необходимом количестве объекты, имеющие надежные привязки, пригодные для осуществления их корректного взаимного позиционирования. При использовании данного способа на экране монитора открывают два окна с изображениями ортофотопланов участка, построенных по материалам съемок, выполненных через некоторый интервал времени. Синхронно перемещая изображения в обоих окнах, отмечают изменения, произошедшие в строении берега. При наличии на рассматриваемых интервалах каких-либо ориентиров (пересечения дорог, мест слияния или крутых изгибов водотоков, антропогенных объектов и т. д.) удается дать и количественную оценку выявленных изменений. Данный способ не гарантирует выявления всех незначительных деформаций положения бровки берегового уступа и обычно не позволяет дать количественную оценку обнаруженных изменений с точностью до первых десятков сантиметров. Однако все отклонения от первоначального положения на 1 м и более устанавливаются уверенно. Таким образом удается установить существенные изменения положения бровки берегового склона и выявить участки активизации ЭГП на интервалах берега, не обеспеченных регулярными наблюдениями по створам сети ГМВО.

Оценка изменений состояния берегов была выполнена для участков побережья Цимлянского водохранилища, обследованных с использованием БПЛА два и более раз с получением фотоматериалов, пригодных для построения ортофотопланов. Такие работы в 2018 и 2019 гг. были осуществлены на территории Дубовского и Цимлянского муниципальных районов Ростовской области и Котельниковского муниципального района Волгоградской области.

Первый способ использован при оценке изменения положения бровки на следующих участках, расположенных в Дубовском и Котельниковском муниципальных районах:

– побережье Жуковского залива между х. Овчинников и ст. Жуковская;

– район расположения х. Кривский;

– участок берега в границах ст. Нагавская;

– участок берега в границах х. Веселый;

– участок побережья от западной окраины ст. Малая Лучка до административной границы Ростовской и Волгоградской областей.

Второй способ использован для выявления деформаций берегового обрыва на территории садоводческого товарищества «Винзавод» (Цимлянский муниципальный район) и в Дубовском районе на участке от Жуковского убежища до границы Ростовской и Волгоградской областей.

Кроме способа выявления динамики берегового обрыва, сравниваемые участки побережья Цимлянского водохранилища можно разделить по времени выполнения дистанционных обследований. Принципиальным, в данном случае, является наличие для исследуемого участка материалов аэросъемок, выполненных до и после шторма, произошедшего в мае 2018 г. при НПУ воды в Цимлянском водохранилище. До этого уровень воды в водохранилище, соответствующий НПУ, наблюдался только в мае 2004 г., а в 2005, 2006 и 2008 гг. в течение непродолжительного периода был на 30–40 см ниже НПУ. В остальное время, начиная с мая 2004 г. по май 2018 г., он был на 1–2 м и более ниже НПУ.

За исключением нескольких локальных участков, первое обследование с использованием БПЛА абразионных берегов в границах Дубовского и Котельниковского муниципальных районов проводилось в августе 2018 г., т. е. после прохождения указанного шторма (рис.). Уровень воды в водохранилище с осени 2018 г. установился ниже НПУ на 1 м и более.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

До и после прохождения шторма в мае 2018 г., вызвавшего значительные разрушения берегов на отдельных территориях, с использованием БПЛА были обследованы следующие участки, положение которых показано на рисунке.

Район х. Овчинников. Взаимное позиционирование ортофотопланов участка берега протяженностью около 1600 м, расположенного между х. Овчинников и ст. Жуковская, показало, что в результате шторма в мае 2018 г. кромка берегового обрыва сместилась на 5–12 м, а площадь потерянной в результате размыва земли составила более 20,5 тыс. м^2. За время, прошедшее до следующего обследования в марте 2019 г., значимых изменений положения бровки берегового уступа не произошло. Исключение составляют три блока площадью от 5 до 15 м^2, выступавших в сторону акватории залива и разрушенных волновой деятельностью.

Район х. Кривский. На участке от балки Крестовой до Кривского залива усиление абразионной деятельности в период майского шторма не привело к тотальному разрушению берега, а носило блоковый характер. Наиболее крупные изменения отмечены на участке берега от восточной окраины х. Кривский до входа в Кривской залив. В центральной части участка протяженностью более 1200 м вообще не выявлено нарушений. Суммарная площадь обрушения блоков составила не менее 2,8 тыс. м^2.

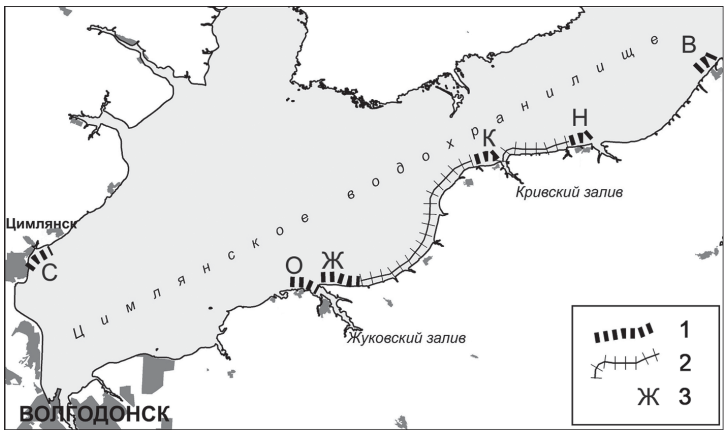

Рис. Расположение участков побережья, обследованных с использованием БПЛА два и более раз.
Проведение первого обследования участка с использованием БПЛА: 1 – до мая 2018 г.; 2 – после мая 2018 г.; 3 – участки побережья, впервые обследованные до мая 2018 г.: С – СТ «Винзавод»; О – район х. Овчинников; К – район х. Кривского; Н – ст. Нагавская; В – х. Веселый; Ж – Жуковский залив – створ ст. Баклановской

Fig. Location of coastal areas two or more times surveyed with UAVs.
First site surveys using UAVs: 1 – before May 2018; 2 – after May 2018; 3 – coastal areas surveyed for the first time before May 2018: C – ST "Vinzavod"; O – the Ovchinnikov farmstead area; K – the Krivsky farmstead area; H – the Nagavskaya village; B – the Vesyoly farmstead; Ж – the Zhukovsky Bay – section of the Baklanovskaya village

В отличие от побережья Жуковского залива стабилизации положения бровки берегового обрыва на рассматриваемом участке после прохождения шторма не произошло. Однако площадь потерянной земли в результате обрушений берега существенно уменьшилась. В период с сентября 2018 г. по август 2019 г. формирование планового рисунка бровки берегового обрыва происходило путем хаотичного обрушения на разных интервалах блоков горных пород, вытянутых вдоль бровки обрыва. В большинстве случаев ширина блоков обрушения, определенных по материалам дистанционного обследования, составляет первые десятки сантиметров при протяженности до нескольких метров. В то же время на нескольких участках, преимущественно примыкающих к входу в Кривской залив, зафиксировано обрушение блоков шириной от 1 до 6,5 м при длине от 10 до 80 м.

Общая площадь потерь земли, определенная по материалам, полученным с помощью БПЛА, составила 1830 м^2. На крупные блоки, достоверность выделения которых не вызывает сомнений, приходится более 1000 м^2.

Побережье в границах станицы Нагавская и хутора Веселый. Обследования с использованием БПЛА побережья в границах ст. Нагавской и х. Веселого Волгоградской области показали повсеместное смещение бровки берегового обрыва в результате шторма в мае 2018 г. Величина отступания берега изменялась в широких пределах от 15 см до 30 м, но чаще от 6 до 10 м. Площадь утраченных в результате размыва земель в ст. Нагавской составила 9,6 тыс. м^2, в х. Веселом – 22,0 м^2. Съемка, выполненная в августе 2019 г., свидетельствует о практически полном сохранении положения бровки берегового уступа на всем протяжении обследованных берегов [Скрипка и др., 2019].

Все охарактеризованные выше участки оборудованы створами сети ГМВО, по которым дважды в год выполняются плановые замеры. Ранее нами была показана [Скрипка и др., 2019] некорректность использования результатов наблюдения по створам сети ГМВО для оценки изменения положения бровки абразионных обрывов между створами наблюдения, а также определения площади земель, утерянных в результате разрушения их ЭГП. Справедливость этого положения подтверждают данные определения площади утраченных земель, рассчитанной по данным ГМВО и определенной по материалам, полученным с помощью БПЛА (табл.).

Результаты сопоставления ортофотопланов способом последовательного параллельного просмотра ортофотопланов. Материалы съемок, выполненных с БПЛА, позволяют оценить изменения, происходящие в береговой зоне водохранилища, даже при невозможности выделения опорных точек в количестве, достаточном для взаимного позиционирования ортофотопланов. При этом следует учитывать, что количественные характеристики выявленных изменений будут иметь приблизительный, оценочный характер.

Жуковский залив – створ ст. Баклановской. На данном участке в береговой зоне водохранилища протяженностью около 5 км после прохождения шторма при НПУ отмечены заметные изменения. Наиболее часто результатом абразии является размыв выступов берега, приуроченных обычно к устьевым частям оврагов и балок. Протяженность таких участков вдоль берега составляет от 5 до 100 м и более. Величина отступания берега может достигать 10 м и более.

Таблица

Оценка по данным ГМВО и материалам обследований с использованием БПЛА площади земель на побережье Цимлянского водохранилища, утраченной в результате абразионной деятельности за 09.2017–09.2018 гг.

Материалы, использованные для расчета	Единицы измерения	Название и расположение участков, номера створов наблюдательной сети ГМВО			
		Харсеевский залив – ст. Жуковская, Ростовская обл.: 26; 27	х. Кривский, Ростовская обл.: 16; 17; 18	ст. Нагавская, Волгоградская обл.: 22; 23	х. Веселый, Волгоградская обл.: 20; 21
Данные наблюдений по створам ГМВО	тыс. м^2	Нет данных	1,8	7,5	14,5
Материалы съемки с БПЛА	тыс. м^2	20,5	2,8	9,6	22,0

Деформациям подверглись здесь также участки берегов, представленные высокими вертикальными обрывами. Самый крупный из них имеет протяженность не менее 350 м при величине отступания бровки берегового обрыва 3–6 м в год. Чаще происходило обрушение небольших по площади блоков и отступание кромки берегового уступа на 1–2 м на интервалах берега протяженностью до 10–15 м.

Территория садового товарищества «Винзавод». С помощью БПЛА до прохождения шторма в мае 2018 г. и повторно в марте 2019 г. было обследовано 800 м берегового обрыва, ограниченного с запада Крутовским заливом Цимлянского водохранилища.

Результаты последовательного параллельного рассмотрения ортофотопланов этого участка до и после шторма однозначно свидетельствуют, что произошло обрушение нескольких блоков, наиболее крупные из которых имеют площадь от 100 до 500 м^2.

В западной части данного участка расположено два створа сети ГМВО – № 1 и № 2. Однако по информации, представленной в автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов, значительных изменений состояния берега за рассматриваемый период не произошло. Только на створе № 1 зафиксировано отступание бровки берегового обрыва на 0,5 м. Отмеченное несоответствие данных ГМВО результатам дистанционного обследования объясняется тем обстоятельством, что практически все обрушения на рассматриваемом участке произошли между створами наблюдательной сети ГМВО. Только краевая часть одного из обрушившихся крупных блоков, имеющих линзовидную форму, пересечена линией, по которой выполняются измерения по створу № 1.

Участки берега, впервые обследованные с использованием БПЛА после прохождения шторма в мае 2018 г. Большая часть побережья водохранилища от створа ст. Баклановской до западной окраины ст. Нагавской впервые была заснята с БПЛА в августе 2018 г. При сравнении ортофотопланов, построенных по материалам этих съемок и съемки берега осенью 2019 г., выявлено не менее 20 участков берега, на которых отмечены разнообразные по форме и интенсивности проявления ЭГП. Но масштабы их последствий, в том числе величины смещения бровки береговых обрывов, несопоставимы с изменениями берегового рельефа, наблюдавшимися после прохождения шторма в мае 2018 г.

Чаще всего экзогенные геологические процессы проявляются в виде:

– трещин отрыва, проходящих на расстоянии от десятков сантиметров до первых метров от бровки обрыва;

– отделения, а иногда и обрушения блоков горных пород, имеющих ширину от десятков сантиметров до 1,5–2 м и длину до 10–15 м;

– смещения и размыва материала образовавшихся ранее обвалов;

– редких оплывин площадью до 300–350 м^2.

Единственное крупное изменение конфигурации берегового обрыва наблюдалось на востоке Дубовского района, примерно в 350 м от административной границы с Волгоградской областью. Здесь произошло обрушение блока горных пород, имеющего размеры по длинной оси 70–75 м, по короткой до 14 м.

Установка ФГБУ РосИНИВХЦ в августе 2019 г. на территории Дубовского района реперов для наблюдения с БПЛА на участке от границы Ростовской и Волгоградской областей до района ст. Малая Лучка позволила выполнить взаимное позиционирование ортофотопланов. Взаимное позиционирование ортофотопланов по материалам съемок, осуществленных 1–3 августа и в начале ноября 2019 г., показало практически полное совпадение бровки берегового обрыва. На обследованных участках побережья общей протяженностью около 15 км отмечено не более полутора десятков мест проявления ЭГП. Как правило, это обрушение или отделение по трещинам отрыва от основного массива блоков горных пород площадью от 3 до 20 м^2. Иногда места проявления ЭГП фиксируются по наличию у подножья берегового обрыва небольших осыпей и обвалов.

Причиной крайне низкой изменчивости положения бровки береговых обрывов в рассматриваемый период является резкое снижение интенсивности абразионной деятельности вследствие значительного понижения уровня воды в водохранилище и отсутствие обильных атмосферных осадков.

Стабильное положение кромки берегового обрыва подтверждают и наземные замеры, выполненные в августе и октябре 2019 г. по реперам, установленным ФГБУ РосИНИВХЦ для наблюдения с БПЛА.

Материалы, полученные при обследовании берегов водохранилища с использованием БПЛА, позволяют не только оценить изменения положения бровки береговых уступов и определить площадь сокращения земельного фонда в результате абразионной деятельности, но и получить представление об изменениях рельефа поверхности откосов береговых склонов.

Особенно это актуально для берегов абразионно-оползневого типа. В результате анализа материалов серии последовательных съемок с БПЛА удается не только зафиксировать момент отделения оползневого блока, но и проследить во времени изменения его размеров, формы и положения на береговом склоне.

Таким образом, активное использование БПЛА и ГИС-технологий в практике ГМВО может существенно повысить достоверность оценки и прогноза изменений состояния берегов водных объектов, что должно способствовать своевременной разработке и реализации водоохранных мероприятий.

ВЫВОДЫ

1. Изменение положения границы берегового уступа между пунктами наблюдения сети ГМВО и потери земельного фонда в результате активизации ЭГП, рассчитанные по результатам наблюдений на ее створах, могут существенно отличаться от фактических значений этих параметров, определенных с использованием БПЛА.

2. Использование БПЛА для мониторинга изменения положения бровки береговых обрывов позволяет выявить места фактических деформаций берега, установить границы и формы участков, разрушенных в результате проявления ЭГП, и оценить их площадь, включая интервалы, не оборудованные пунктами наблюдения сети ГМВО.

3. Уровень воды в Цимлянском водохранилище является одним из основных факторов, определяющих интенсивность разрушения его берегов. Максимальные деформации берегов абразионных типов, сопровождающиеся значительными потерями земельного фонда и поступлением материала в акваторию водохранилища, зафиксированы в результате шторма, совпавшего с достижением нормального подпорного уровня.

4. В периоды низкого уровня воды в водохранилище интенсивность экзогенных геологических процессов заметно снижается. На участках с высокими обрывистыми берегами они проявляются в виде трещин отрыва, проходящих на расстоянии до первых метров от бровки обрыва; отделения или обрушения небольших блоков горных пород; разрушения образовавшихся ранее обвалов; формирования небольших оплывин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Косолапов А.Е., Скрипка Г.И., Беспалова Л.А. и др. Районирование берегов Цимлянского водохранилища по степени проявления опасных экзогенных геологических процессов // Естественные и технические науки. 2017. № 10(112). С. 59–68.

Крыленко М.В., Крыленко В.В. Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. № 2. С. 10–19.

Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Лепихин А.П. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для оценки состояния берегов поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России. 2018. № 1. С. 37–46.

Скрипка Г.И., Сапрыгин В.В., Филатов А.А. Оценка потерь земли по результатам мониторинга водоохранной зоны Цимлянского водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 23–29 сентября 2019 г. Ростов на/Д., 2019. С. 282–288.

Скрипка Г.И., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В. и др. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 08–14 октября 2018 г.: в 2 т. Т. I. Новочеркасск: Лик, 2018. С. 298–305.

Turner I.L., Harley M.D., Drummond C.D. UAVs for coastal surveying, *Coastal Engineering*, 2016, p. 19–24, DOI: 10.1016/j.coastaleng.2016.03.011.

Topouzelis K., Papakonstantinou A., Doukari M. Coastline change detection using unmanned aerial vehicles and image processing techniques, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017, vol. 26, no. 9, p. 5564–5571, ref. 14.

Papakonstantinou A., Topouzelis K., Pavlogeorgatos G. Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data, *International Journal of Geoinformation,* 2016, vol. 5, p. 75, DOI: 3390/ijgi5060075.

Seymour A.C., Ridge J.T., Rodriguez A.B., Newton E., Dale J., Johnston D.W. Deploying Fixed Wing Unoccupied Aerial Systems (UAS) for Coastal Morphology Assessment and Management, *Journal of Coastal Research,* 2018, vol. 34, p. 704–717, DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-17-00088.1.

Поступила в редакцию 27.12.2020
После доработки 15.06.2021
Принята к публикации 22.11.2021

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF ABRASION SHORES AT THE TSIMLYANSK RESERVOIR WITH THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

G.I. Skripka[1], A.E. Kosolapov[2], O.V. Ivlieva[3], L.A. Bespalova[4], T.A. Kalimanov[5], V.V. Saprygin[6], A.A. Filatov[7]

[1–7] *Federal State Budgetary Institution "Russian Information-Analytical and Research Water Management Center", Rostov-on-Don, Russian Federation*

[1] *Head of Research and Development Department for Restoration and Protection of Water Bodies, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: skripka.grisha@yandex.ru*
[2] *Director, D.Sc. in Technology; e-mail: rwec@rwec.ru*
[3] *Chief Scientific Researcher, Dr.Sc. in Geography; e-mail: ivlieva.o@mail.ru*
[4] *Chief Scientific Researcher, Dr.Sc. in Geography; e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru*
[5] *Head of Department for Maintaining the State Register and Automated Information Systems, Ph.D. in Technology; e-mail: rwec@rwec.ru*
[6] *Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: vv.saprygin@gmail.com*
[7] *Leading Engineer, Sector of Modeling Water Management Systems; e-mail: AntonFGURostov@yandex.ru*

The paper shows the prospects of using the unmanned aerial vehicles (UAVs) for the monitoring of reservoir shores particularly in the absence of observation points of the state monitoring network of water bodies. The abrasion activity consequences, such as the retreat of cliff edge and the reduction of land area, were assessed for several sections of the Tsimlyansk reserve shores, applying the mutual linkage of aerial photos by reference points and successive interval parallel consideration of heterochronous orthophotomaps.

The first method, providing observation accuracy within 10 cm, made it possible to identify periods of cliff edge retreat by 5–30 cm resulting in land loss of 2.8 to 22 thou. m^2 and stabilization periods when the position of the cliff edge changed little if at all.

The second method allowed the reliable identification of time intervals with active exogenous geological processes resulting in the cliff edge retreat by a meter or more.

It is shown that the most considerable changes in the shore slope configuration took place in the region of Ovchinnikov and Vesyoly farmsteads and Nagavskaya stanitsa as the result of the storm in May 2018 under N.W.L. (Normal Water Level). At the same period, the retreat of shores by 5–10 m probably occurred at some locations in the region of "Vinzavod" Garden Partnership and at the shore section from the eastern cape of Zhukovsky Bay to the Baklanovskaya village.

It is found that the coastline stabilization coincides with the periods of the reservoir water level at 1–2 m below N.W.L. and the absence of heavy precipitation. During these periods, the intensity of exogenous geological processes decreases noticeably. The main forms of their manifestation are the ruptures at the distance up to first meters from the cliff edge; failures of small blocks of rocks; forming of small swellings.

Key words: monitoring of cliff edge position, land loss, contro points, mutual positioning of orthophotomaps

REFERENCES

Kosolapov A.E., Skripka G.I., Bespalova L.A. et al. Raionirovanie beregov Tsimlyanskogo vodokhranilishcha po stepeni proyavleniya opasnykh ekzogennykh geologicheskikh protsessov [Zoning of the Tsimlyansk reservoir coast according to the intensity of manifestation of hazardous exogenous geological processes], *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2017, no. 10(112), p. 59–68. (In Russian)

Krylenko M.V., Krylenko V.V. Osobennosti vypolneniya vysokotochnoi s"emki rel'efa abrazionnogo berega s pomoshch'yu BLA [Features of performing high-precision survey of the abrasion coast relief by UAV], *Byulleten' nauki i praktiki*, 2020, vol. 6, no. 2, p. 10–19. (In Russian)

Luchnikov A.I., Lyakhin Yu.S., Lepikhin A.P. Opyt primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya otsenki sostoyaniya beregov poverkhnostnykh vodnykh ob"ektov [Experience in the use of unmanned aerial vehicles for assessing the state of the shores of surface water bodies], *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2018, no. 1, p. 37–46. (In Russian)

Papakonstantinou A., Topouzelis K., Pavlogeorgatos G. Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data, *International Journal of Geoinformation,* 2016, vol. 5, p. 75, DOI: 3390/ijgi5060075.

Seymour A.C., Ridge J.T., Rodriguez A.B., Newton E., Dale J., Johnston D.W. Deploying Fixed Wing Unoccupied Aerial Systems (UAS) for Coastal Morphology Assessment and Management, *Journal of Coastal Research,* 2018, vol. 34, p. 704–717, DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-17-00088.1.

Skripka G.I., Bespalova L.A., Ivlieva O.V. et al. Opyt ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya monitoringa polozheniya brovki vysokikh beregov vodokhranilishch [Experience of using unmanned aerial vehicles for monitoring the position of the edge of high

reservoir coasts], *Sb. materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Sochi, 2018, p. 298–305. (In Russian)

Skripka G.I., Saprygin V.V., Filatov A.A. Otsenka poter' zemli po rezul'tatam monitoringa vodookhrannoi zony Tsimlyanskogo vodokhranilishcha s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Assessment of land losses on the results of monitoring water protection zone of the Tsimlyansk reservoir using unmanned aerial vehicles], *Sb. materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Sochi, 2019, p. 282–288. (In Russian)

Topouzelis K., Papakonstantinou A., Doukari M. Coastline change detection using unmanned aerial vehicles and image processing techniques, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017, vol. 26, no. 9, p. 5564–5571, ref. 14.

Turner I.L., Harley M.D., Drummond C.D. UAVs for coastal surveying, *Coastal Engineering*, 2016, p. 19–24, DOI: 10.1016/j.coastaleng.2016.03.011.

Received 27.12.2020
Revised 15.06.2021
Accepted 01.11.2021