

Научная статья

Original article

УДК 551.435:502.55:528

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_7_333

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА ВОДООХРАННЫХ
ЗОН И БЕРЕГОВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**
**USING PILOTLESS AIRCRAFTS TO DETERMINE RELIEF PARAMETERS
OF WATER PROTECTION ZONES AND BANKS OF WATER BODIES**



Скрипка Григорий Иванович, канд. геол.-минерал. наук, заведующий отделом создания систем управления водными ресурсами с элементами искусственного интеллекта ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных объектов», e-mail: skripka-grisha@yandex.ru

Ивлиева Ольга Васильевна, д.г.н., профессор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», e-mail: ivlieva.o@mail.ru.

Беспалова Людмила Александровна, д.г.н., профессор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru.

Сапрыгин Владислав Валерьевич, канд. геогр. наук, главный специалист отдела создания систем управления водными ресурсами с элементами искусственного интеллекта ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных объектов», e-mail: vlad_rostov@inbox.ru

Skripka Grigoriy Ivanovich, Cand. Sc (Geol.-Mineral.), Head of Creating Systems for Water Resources Management with Elements of Artificial Intelligence Dept., « FGBI Russian Research Institute of Multipurpose Use and Conservation of water Bodies», e-mail: skripka-grisha@yandex.ru

Ivlieva O. Vasilievna, Doctor of Geographical Sciences, professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection; e-mail: ivlieva.o@mail.ru

Bespalova L. Aleksandrovna, Doctor of Geographical Sciences, professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection; e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru

Saprygin Vladislav Valerievich, Cand Sc., (Geogr.), Principal Expert of Creating Systems for Water Resources Management with Elements of Artificial Intelligence Dept., « FGBI Russian Research Institute of Multipurpose Use and Conservation of water Bodies», e-mail: vlad_rostov@inbox.ru

Аннотация.

Актуальность. Изменение рельефа водоохранных зон (ВЗ) и конфигурации берегов водных объектов вследствие проявления экзогенных геологических процессов (ЭГП) может как существенно повлиять на возможность их использования, так и создать угрозу для расположенных здесь объектов. Для получения информации о состоянии ВЗ водных объектов проводится государственный мониторинг и измерения по наблюдательной сети государственного мониторинга водных объектов (ГМВО). Однако наземные обследования не могут охватить всю территорию ВЗ, а информация о положении береговой линии достоверна только непосредственно для линии створов ГМВО. Большая часть береговой линии и площади ВЗ остаётся неохваченной наблюдениями.

Методы. Фотоматериалы о строении рельефа ВЗ и положении береговой линии, полученные с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), могут заполнить данный пробел. В статье рассматривается

возможность использования материалов аэрофотосъёмки с БПЛА для оценки изменения морфометрических параметров ВЗ и берегов водных объектов.

Результаты. Показана возможность существенно повысить эффективность и достоверность мониторинга ВЗ и берегов водных объектов за счёт использования материалов аэросъёмки с БПЛА, обработанных с использованием программы Agisoft PhotoScan, включая количественное определение морфометрических параметров эрозионного рельефа ВЗ, величины смещения береговой линии, площади утраченных в результате проявления ЭГП земель.

Abstract.

Urgency. Changing of both the relief of water protection zones and the coast configuration of water bodies as a result of manifestation of exogenous geologic processes (EGP) can both influence essentially the opportunity of their using and create threat for situated here facilities. To obtain information on the state of water bodies protection zones, state monitoring and measurements by the observation network of water bodies state monitoring (GMD) are carried out Ground-based observations, however, cannot, cover the whole area of the water protection zone and the information about the coastline position is reliable only directly for the GMVO gauge lines. The great part of the coastline and the water protection zone are not enveloped by observations.

Methods. Photo materials on the relief structure of the water protection zone and the coastline position obtained by using pilotless aircrafts (PLA) can bridge this gap. In the article, a possibility of using materials of air survey by PLA for assessing changes of morphometric parameters in the water protection zone and water bodies coasts are considered.

Results. It is shown the possibility to increase essentially efficiency and reliability of monitoring of the water protection zone and water bodies banks at the expense of using materials of air survey by PLA, processes by applying Agisoft PhotoScan programmer including quantitative determination of morphometric

parameters of the of the water protection zone erosive relief, the value of the coastline displacement, they are of lands lost as a results of EGP processes manifestation.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг водных объектов, морфометрические характеристики рельефа, береговая линия, ортофотопланов

Keywords: pilotless aircraft, monitoriny of water bodies, relief morphometric parameters

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) могут эффективно использоваться для изучения и оценки морфометрических характеристик рельефа водоохранных зон и берегов водных объектов, в том числе при обследовании участков с низкой транспортной доступностью [1-4].

Отсутствие достоверной информации о динамике и результатах экзогенных геологических процессов (ЭГП), происходящих на всём протяжении водоохранных зон (ВЗ), не позволяет объективно оценивать ситуацию, прогнозировать изменение положения берегового уступа, дать количественную оценку площади и объёмов земель, утраченных в результате проявления ЭГП, разрабатывать и реализовывать меры по минимизации негативных последствий.

Существующая сеть наблюдений ГМВО позволяет достаточно точно отслеживать ежегодное изменение положения берегов водохранилища по створам данной сети. Но данная методика не может быть использована для оценки и, следовательно, достоверного прогноза смещения бровки обрыва на всем протяжении побережья водного объекта.

С использованием БПЛА появляется возможность проведения наблюдений за положением береговой линии между створами сети ГМВО, включая участки, получение информации по которым во время наземных обследований вообще невозможно. Создаются условия для увеличения частоты наблюдений при минимизации затрат на транспортные расходы. Расширяются

возможности повышения объективности прогноза развития ситуации. Отсутствует необходимость расположения контрольного репера в прямой видимости от бровки обрыва [5-7].

Наличие архива фотоматериалов и продуктов их компьютерной обработки позволяет анализировать изменения положения бровки берегового обрыва и рельефа ВЗ за период осуществления дистанционных наблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приводимые в данной статье материалы, основанные на результатах обследований, полученных при аэросъёмке с БПЛА моделей Phantom 4 Pro и Luftera побережья Цимлянского, Белгородского и Пролетарского водохранилищ и обработанные с использованием программы Agisoft PhotoScan, позволили разработать методические рекомендации для оценки:

— морфометрических характеристик эрозионных форм рельефа водоохранных зон;

— изменения положения и скорости перемещения бровки береговых уступов;

— размеров площади участков и объёмов толщ горных пород, утерянных при обрушении береговых уступов в результате проявления абразионных и эрозионных процессов.

Для получения корректных результатов необходимо выполнение нескольких условий.

Во-первых, реперные точки, имеющие координаты, должны уверенно фиксироваться на аэроснимках независимо от погодных-климатических и других условий съёмки.

Во-вторых, для обеспечения точности совмещения разновременных ортофотопланов необходимо с использованием высокоточной наземной аппаратуры определить координаты нескольких опорных точек.

Возможность использования БПЛА может быть существенно ограничена погодными условиями, характером освещения объекта съёмки, а также его

состоянием, например, наличием вдоль границы берегового обрыва травянистой и иной растительности, имеющей сезонное развитие.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение морфометрических характеристик линейных эрозионных форм рельефа водоохранных зон по материалам, полученным с помощью БПЛА

Общее представление о характере рельефа ВЗ и отдельных эрозионных форм можно получить на основе визуального анализа материалов фото- и видеосъёмки, выполненных с БПЛА, в том числе панорамных фотоснимков, а также ортофотопланов, охватывающих значительные по площади участки ВЗ и прилегающих к ней территорий.

В качестве основного материала для определения морфометрических характеристик используется ортофотоплан (вид сверху) выбранных исследователем участков, на которых определяют площадь, периметр, длину тальвега эрозионной формы, а также морфометрические характеристики её поперечного и продольного профилей. С этой целью, используя стандартный инструментарий геоинформационной системы, производят оконтуривание долины эрозионной формы рельефа и площади его водосбора, измерение ее периметров и площади. В заданных точках определяют координаты и измеряют длину проекции тальвега долины эрозионной формы на горизонтальную плоскость. Можно также получить рисунки продольного и поперечных профилей долины эрозионной формы и фактическую длину тальвега.

Непосредственно по построенным профилям продольного и поперечных сечений долины эрозионной формы можно измерить высоту склонов, ширину днища долины, уклон бортов долины и склона обрыва, длину тальвега.

Для определения изменения положения границ эрозионных форм рельефа, занимаемой ими площади и других морфометрических характеристик необходимо проведение повторной съёмки и сравнение полученных материалов с данными предыдущего зондирования.

***Определение изменения положения бровки береговых обрывов,
величины и скорости её отступления по заданному интервалу***

Для получения информации о произошедших изменениях проводится сравнение ортофотопланов береговой зоны, построенных по сериям снимков, полученных с некоторым временным интервалом. Выявление произошедших изменений осуществляют методами:

- относительного взаимного позиционирования ортофотопланов;
- последовательного параллельного сопоставления ортофотопланов.

Метод относительного взаимного позиционирования ортофотопланов

По опорным точкам выполняется "привязка" (выравнивание) сравниваемых ортофотопланов береговой зоны водного объекта.

В качестве опорных точек (объектов-реперов) могут быть использованы природные и антропогенные объекты. Обязательными требованиями для использования объекта в качестве опорной точки являются:

- доступность наблюдения при выполнении съёмки в надир;
- стабильность в течение анализируемого периода времени формы, размеров, положения, независимо от изменения внешних факторов;
- незначительное превышение над поверхностью земли;
- отсутствие антропогенных и природных объектов, изменение состояния которых будет препятствовать наблюдению.

Для интервалов, на которых отсутствуют природные и антропогенные объекты, пригодные для использования в качестве опорных точек, но характеризующиеся относительно высокой подвижностью бровки берегового обрыва, необходимо создание дополнительной наблюдательной сети из реперов, обеспечивающих дистанционное зондирование берега с помощью БПЛА. Обязательным требованием, кроме хорошей видимости с принятой высоты полёта БПЛА, является наличие ориентира, позволяющего однозначно установить направление, по которому выполняется измерение от центра репера до бровки берегового обрыва.

В качестве опорных точек могут использоваться и реперы государственной наблюдательной сети при выполнении специальных мероприятий по их визуализации для наблюдения с БПЛА.

Проведенные исследования показывают, что совмещение разновременных ортофотопланов по опорным точкам, расположенным друг от друга на расстоянии до 1-1,2 км, позволяет оценить изменение положения бровки берегового обрыва между створами наблюдения, уверенно выделив блоки обрушения длиной от 1 м.

Менее значительные смещения границ бровки берегового уступа на разновременных ортофотопланах могут быть следствием разрушения берега, а также погрешностей, обусловленных техническими возможностями фотокамеры.

Информацию об изменении положения бровки берегового обрыва получают путём сопоставления линии бровки, оцифрованной по серии взаимно позиционированных ортофотопланов. За основу берут ортофотоплан, построенный по материалам самой ранней съёмки рассматриваемого участка, позиционируя остальные ортофотопланы серии относительно него.

Получение информации об изменении положения бровки берегового обрыва на всём протяжении рассматриваемого участка за определённый период времени позволяет установить средние значения величины и скорости отступления для любого из выбранных интервалов. С этой целью, в зависимости от требуемой детальности оценки, участок побережья разбивают на равные отрезки линиями, перпендикулярными к усреднённому направлению простирания берегового обрыва (рис.1). Разделив среднее значение смещения бровки обрыва для участка на период времени между проведением наблюдений, находят среднюю скорость отступления берегового обрыва для данного временного интервала.

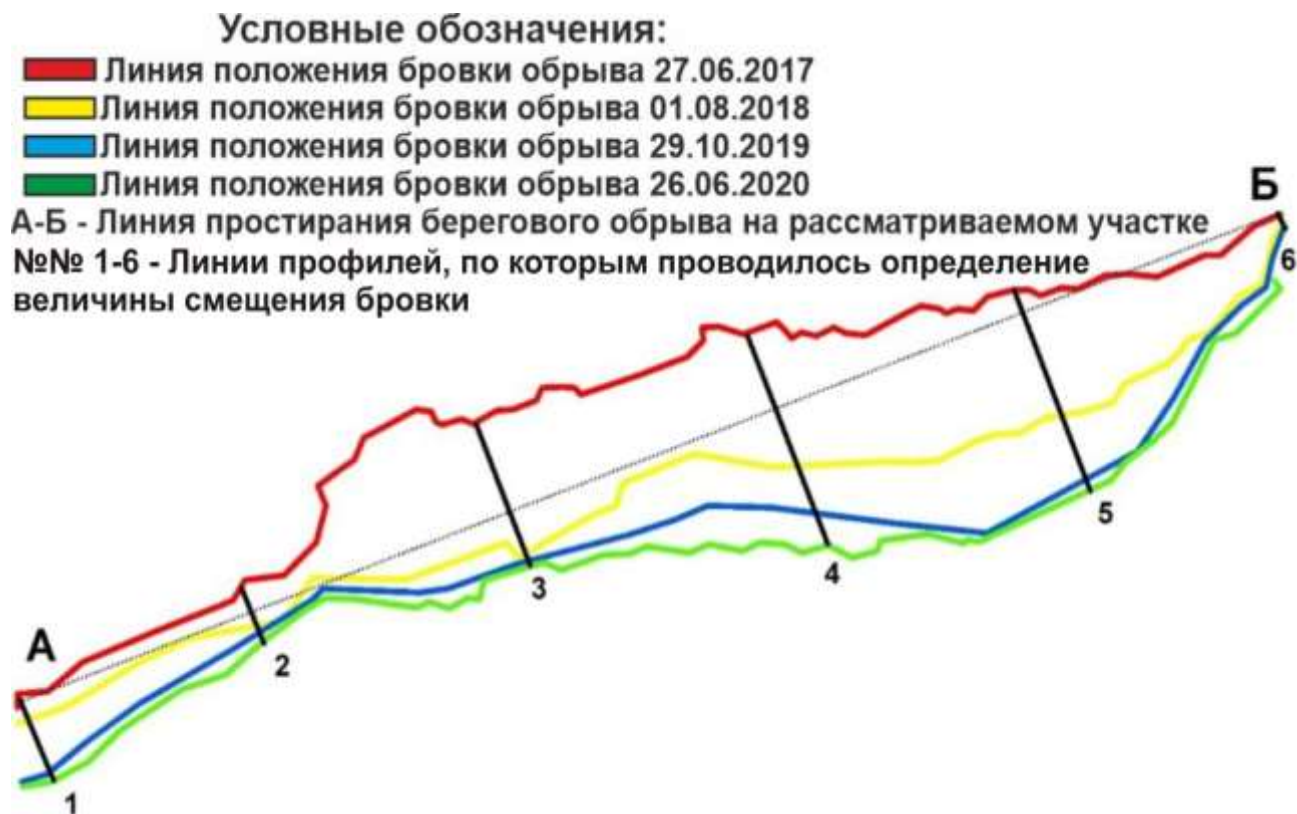


Рис.1. Графические построения для определения величины отступления бровки берегового обрыва Цимлянского водохранилища в районе хутора Кривский

Fig. 1 – Graphic constructions to determine the value of edge deviating of the Tsimlyansk reservoir bank precipice in the region of Krivsky khuto

Метод последовательного параллельного сопоставления ортофотопланов

Используется для участков, на которых отсутствуют объекты, идентифицируемые в качестве реперов, наблюдаемых с БПЛА. Визуальное сопоставление ортофотопланов одного и того же участка, обследованного через некоторый промежуток времени, не гарантирует выявления всех незначительных деформаций линейных объектов и обычно не позволяет дать количественное определение обнаруженных изменений. Метод позволяет установить заметные изменения положения бровки берегового склона и

выявить участки активизации ЭГП на интервалах, не обеспеченных регулярными наблюдениями по створам сети ГМВО.

Оценка площади земли, утерянной в результате разрушения берегов водохранилищ при активизации экзогенных геологических процессов, и объёма материала блока обрушения

Возможность объективного решения данных задач государственного мониторинга водных объектов является необходимым условием для разработки адекватных решений по обеспечению безопасности жилых и хозяйственных объектов, расположенных в ВЗ водного объекта, минимизации негативных последствий для его экосистемы.

С целью определения площади земли, утерянной вследствие активизации ЭГП, необходимо провести оцифровку бровки берегового обрыва на ортофотопланах, построенных по материалам аэросъёмки в начале и конце рассматриваемого временного интервала, и выполнить их взаимное позиционирование.

Полученный слой позволяет наглядно визуализировать площади обрушений берегового уступа на интервалах времени, ограниченных датами проведённых съёмки, и определить её величину.

Определение объёмов горных пород, обрушившихся вследствие активизации склоновых ЭГП, осуществляется в следующем порядке:

—по материалам двух аэросъёмки необходимо построить цифровые модели поверхностей (ЦМП) ортофотопланов и выполнить их взаимное позиционирование. Область обрушения оцифровывают путём создания полигонального шейп-файла и оконтуривают замкнутую область, образованную пересекающимися линиями кромки берегового обрыва по ортофотопланам;

—вычисляют площади области обрушения;

—определяют разницу высот между ЦМП, построенных по материалам 2-х съёмки;

—определяют объём обрушения берегового уступа, для него по растру разницы высот вычисляют сумму значений в ячейках этого раstra, ограниченных выделенной ранее областью обрушения. Умножив полученную сумму на площадь ячейки раstra, получают объём обрушения.

ВЫВОДЫ

1. Беспилотные летательные аппараты могут эффективно использоваться при осуществлении мониторинга морфологии и морфометрических характеристик линейных форм эрозионного рельефа объектов, позволяя во многих случаях отказаться от проведения трудоёмких наземных полевых работ, особенно на участках низкой транспортной доступности.

2. Материалы фотосъёмки с БПЛА позволяют дать количественную оценку изменений морфологии рельефа ВЗ и берегов водного объекта: величину и скорость отступления береговой линии на всём обследованном интервале или его отдельных участках, сокращение площади берега в результате его обрушения за определённый промежуток времени и объём горных пород в обрушившемся блоке.

3. Использование БПЛА позволяет выявить участки активизации ЭГП на интервалах, не обеспеченных регулярными наблюдениями по створам сети ГМВО.

4. Использование материалов, полученных с помощью БПЛА, во многих случаях может существенно повысить достоверность и обоснованность прогноза изменения рельефа ВЗ и положения бровки береговых обрывов.

Список источников

1. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Особенности выполнения высокоточной съёмки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА // Бюл. науки и практики. Науки о Земле. 2020. Т.6, № 2. С. 10-19.
2. Банщикова Л.С., Банщиков А.А. Оперативный мониторинг водоохранных зон с применением БПЛА //Тр. II Всерос. Конф. «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 2018. С.79-82.

3. Turner I.L., Harley M.D., Drummond C.D. UAVs for coastal surveying //Coastal engineering. 2016. No. 114. P. 19 – 24.
4. Papakonstantinou A., Doukari M., Topouzelis K. Coastline change detection using unmanned Aerial Vehicles and Image Processing Techniques // Fresenius Environmental Bulletin, Greece. 2017. No. 26. P. 5564 – 5571.
5. Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Лепихин А.П. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для оценки состояния берегов поверхностных водных объектов //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 37-46.
6. Скрипка Г.И., Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Филатов А.А., Сапрыгин В.В. Мониторинг опасных береговых процессов Цимлянского водохранилища с использованием ГИС-технологий. //Материалы Междунар. конф. «ИнтерКарто. ИнтерГИС». Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. Изд-во Моск. ун-та, 2020. Т. 26. Ч.2. С.253-263.
7. Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Глинка В.В., Сердюк Л.В., Чмыхов А.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки интенсивности проявления опасных береговых процессов водоохраной зоны Цимлянского водохранилища. // Изв. вузов. Сев-Кавк. регион /2021. Т. 2. С. 56-65.

References

1. Krylenko, M., & Krylenko, V. (2020). Features of Performing High-precision Survey of the Abrasion Coast Relief by UAV. *Bulletin of Science and Practice*, 6(2), 10-19. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01> (in Russian).
2. Banshchikova L.S., Banshchikov A.A. Real-time monitoring of water protection zones using uav //Proceedings of the II Russian national conference “Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives, 2018. P. 79 – 82.
3. Turner I. L., Harley M. D., Drummond C. D. UAVs for coastal surveying //Coastal engineering. 2016. No. 114. P. 19 – 24.

4. Papakonstantinou A., Doukari M., Topouzelis K. Coastline change detection using unmanned Aerial Vehicles and Image Processing Techniques // Fresenius Environmental Bulletin, Greece. 2017. No. 26. P. 5564 – 5571.
5. Luchnikov A.I., Lyakhin Yu.S., Lepikhin A.P. Experience of using pilotless aircrafts to assess the state of banks for surface water bodies. // Water Industry of Russia: problems, technologies, management. 2018. №1. P. 37-46 (in Russian).
6. Skripka G.I., Ivlieva O.V., Bepalova L.A., Filatov A.A., Saprygin V.V. Monitoring of dangerous coastal processes of the Tsimlyansk reservoir using GIS-technologies. // Proceeding of the International conference "InterKarto. Inter GIS." Geoinformational securing sustainable development of areas. Moscow University Publishers. 2020. Vol.26. Part 2. P. 253-263 (in Russia).
7. Ivlieva O.V., Bepalova L.A., Glinka V.V., Serdyuk L.V., Chmykhov A.A. Using pilotless aircraft to assess intensity manifestation of dangerous coastal processes in the water protection zone of the Tsimlyansk reservoir. // Transactions of Higher Schools. North Caucasian-region. 2021. Vol.2. P. 56-65. (in Russia).

Для цитирования: Скрипка Г.И., Ивлиева О. В., Беспалова Л. А., Сапрыгин В. В. Использование беспилотных летательных аппаратов для определения параметров рельефа водоохранных зон и берегов водных объектов // Московский экономический журнал. 2023. №7. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-7-2023-21/>

© Скрипка Г.И., Ивлиева О. В., Беспалова Л. А., Сапрыгин В. В., 2023.

Московский экономический журнал, 2023, №7.