

УДК 528.8:556
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-67-75

Мониторинг водных объектов дистанционными методами

М. Г. Мустафин¹, В. А. Вальков^{1*}, Н. С. Павлов¹, К. П. Виноградов¹, А. А. Боголюбова¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

* e-mail: Valkov_VA@pers.spmi.ru

Аннотация. Разработана методика, позволяющая определять объемы водных ресурсов объектов гидрографии с использованием материалов дистанционного зондирования Земли и цифровой модели рельефа (ЦМР) местности. Задача является актуальной, особенно в условиях недоступности или затрудненных подходов к объекту. Методика включает использование или построение ЦМР дна водного объекта по данным батиметрической съемки, трансформацию космоснимков на проекцию, в наибольшей степени соответствующую поверхности Земли на данных широтах, определение контура береговой черты водоема и подсчет объема воды. С целью апробации выбран мелководный объект на территории России, для которого сезонные колебания уровня воды ведут к значительным изменениям ресурсов. По результатам выявлена хорошая сходимость предлагаемых подходов с накопленными материалами традиционной батиметрической съемки.

Ключевые слова: водный объект, мониторинг, объем воды, космический снимок, векторизация, трансформация, цифровая модель рельефа

Введение

Водные ресурсы составляют более 70 % поверхности Земли. Россия, являясь одной из наиболее водообеспеченных стран в мире, ставит в качестве приоритетной задачи федерального значения вопрос рационального водопользования [1].

Традиционно оценка запасов водных ресурсов осуществлялась на основе батиметрической съемки, в результате которой получали информацию о поверхности дна с последующей трансформацией в топографические планы, карты в аналоговом или цифровом виде. Вместе с тем на современном этапе развития

топографо-геодезических работ появились возможности, позволяющие повысить как наглядность, так и точность материалов. Кроме того, стало доступным применение комбинаций методов измерений для обеспечения решения задачи об определении объемов воды для труднодоступных объектов, например, болотистых мест, заросших, непроходимых территорий и т. д. В этих условиях возможно применение дистанционного метода съемки с привязкой к топографии данной местности.

В настоящее время наиболее востребованными становятся трехмерные ЦМР дна водоемов, являющиеся виртуальными двойниками реальных объектов (рис. 1).

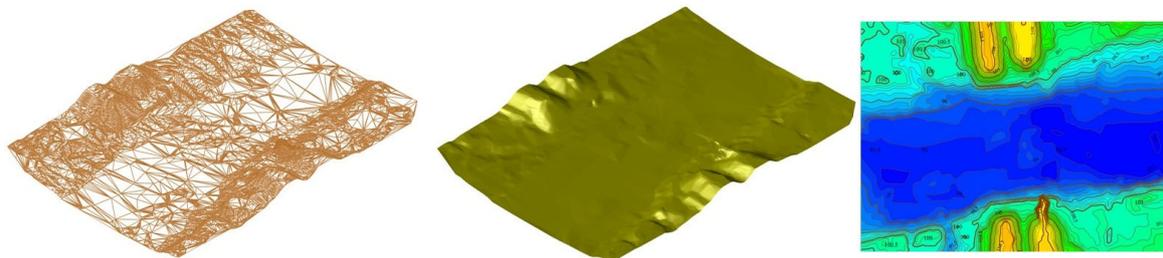


Рис. 1. Примеры визуализации дна водоема в цифровом виде

Несмотря на то что для их создания требуется больше вычислительных ресурсов, трехмерные модели позволяют значительно повысить эффективность различных объемно-планировочных решений, в частности:

- мониторинга и определения возможного изменения рельефа и структуры дна;

– изучения различных процессов, связанных с опасными природными явлениями;

– использования данных о рельефе и характеристиках дна для проектных решений.

Изучение дна водоема проводится на основе батиметрической (гидрографической) съемки, которая является неотъемлемой частью работ, необходимых для построения ЦМР [2–8]. Отличие данных исследований от традиционных вариантов топографических съемок суши в том, что рельеф при сборе данных отделен от исполнителя толщиной воды. Исходя из этого, промеры глубин обычно выполняют по определенной заранее схеме. Наиболее популярным вариантом является использование створов (галсов). Их расположение выбирается с условием минимизации объемов работ при достижении необходимой точности съемки и должно соответствовать основным нормативным документам [9–13].

К настоящему времени можно выделить ряд способов для проведения батиметрических съемок в зависимости от перечня используемых приборов и инструментов:

– механический на основе ручных лотов и наметок;

– гидроакустический на основе однолучевых и многолучевых эхолотов;

– фотограмметрический на основе цифровых фотокамер;

– воздушное лазерное сканирование на основе лидаров, производящих съемку в зеленой зоне спектра.

Использование способа зависит прежде всего от значимости объекта, требований технического задания на выполнение съемки и финансовых возможностей [14, 15].

Но существуют нестандартные ситуации, при которых применение перечисленных способов проведения батиметрической съемки затруднено или вовсе невозможно [16]. К ограничениям можно отнести:

– нахождение объекта на приграничной территории;

– значительное число зон мелководья;

– обилие водной растительности;

– непрозрачность воды.

Так, при крайней мелководности водоема колебания уровня воды в зависимости от сезона и погоды могут приводить к значитель-

ным изменениям как запасов воды, так и положения береговой линии.

В этом случае перспективным выглядит использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Поскольку береговая линия может быть достаточно оперативно и точно обнаружена по космическим снимкам, последние могут являться достаточным материалом для мониторинга запасов воды в случае имеющейся ЦМР местности, включающей дно изучаемого объекта. Следует заметить, что в настоящее время ведутся различные исследования на предмет мониторинга водных ресурсов [17–19] с уделением особого внимания использованию материалов космических съемок [20–23]. В этой связи создание методики определения запасов воды с комбинированным использованием ЦМР местности и космических снимков является актуальной задачей.

Материалы и методы

Для формулирования и апробации методики выбран мелководный объект значительной площади на территории РФ, для которого накоплены многолетние данные батиметрических съемок.

Методика включает в себя следующую последовательность выполнения работ: анализ исходных данных; подбор космических снимков; выбор системы координат (СК); трансформирование исходных данных в СК; использование ЦМР дна водоема; определение границ водного объекта на разные даты; вычисление объемов воды; проверка полученных результатов.

Для определения контура береговой линии водного объекта и прогноза характера его изменения использовались снимки Landsat 8. Этот космический аппарат позволяет получать мультиспектральные данные (11 полос) с пространственным разрешением до 15 м, имеющие геодезическую привязку в СК WGS-84 (проекция UTM).

В качестве исходных данных использованы материалы съемок на девять дат, выполненных с августа 2017 по июнь 2018 г. На рис. 2 представлены снимки от более ранних до поздних.

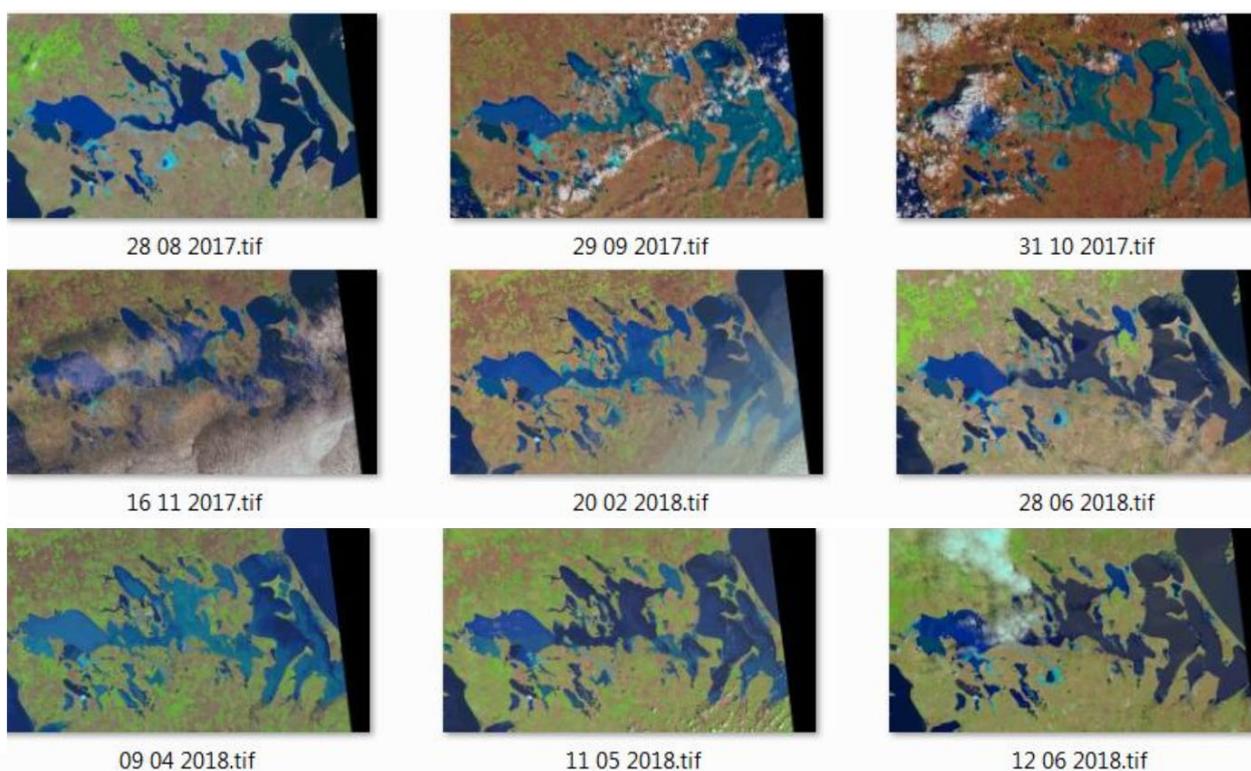


Рис. 2. Космоснимки Landsat 8, подобранные на разные даты

Критерием выбора именно этих снимков кроме принадлежности к сезонам являлся также низкий процент облачности. Для работы применялись растровые изображения, синтезированные стандартным подходом в реальных цветах, поскольку основной целью их использования была векторизация береговой линии.

Вычисление запасов воды выбранного объекта, как отмечалось выше, выполнялось на основе ЦМР его дна, построенной в пространственной прямоугольной системе координат. Выбор картографической проекции имеет особое значение для корректности определения объемов воды. Так как имеющиеся космоснимки привязаны к СК WGS-84 (проекция UTM), могут возникать значительные искажения площадей, длин линий и величин углов, поэтому геометрическое вычисление объемов воды в профильных программах может содержать большие ошибки и требовать отдельного подхода [24–26].

В данном случае на основе тестовых расчетов принято использовать картографическую проекцию Альберса. Ее применение оправдано при отображении территорий, вытянутых в широтном направлении. В стан-

дартном представлении одна из главных параллелей этой проекции – 45° северной широты – затрагивает объект. Это позволяет не только сохранить площади, но и минимизировать другие виды искажений вблизи исследуемой территории.

Полученные космические снимки Landsat, имеющие глобальную геодезическую привязку, были трансформированы в проекцию Альберса с использованием географической информационной системы общего назначения GlobalMapper (версия 18). Таким образом, для выполнения работ по оценке запасов воды с учетом моделирования рельефа дна была создана единая прямоугольная координатная основа, позволившая минимизировать искажения.

Космические снимки хорошо передают очертания береговой линии за счет интерполяции оптической плотности в пределах одного пиксела своего разрешения. Отметим, что даже при наземной топографической съемке в условиях сильно пологой и заболоченной местности с растительностью нет возможности точно разграничить воду и землю. Большое количество снимков Landsat 8, собранных на разные даты в пределах года,

дают возможность выполнить векторизацию береговой линии при разных уровнях воды. Среди представленных снимков были выбраны три с уровнями воды, близкими к минимальному, максимальному и среднему. Максимальный уровень, как и положено, пришелся на апрель, а меженный – на август.

Векторизация береговой линии в нескольких вариантах выполнялась в системе автоматизированного проектирования (САПР) Autodesk AutoCAD.

На отдельный слой были помещены границы зоны засухи, отличающиеся на снимках грязно-зеленым оттенком (рис. 3).

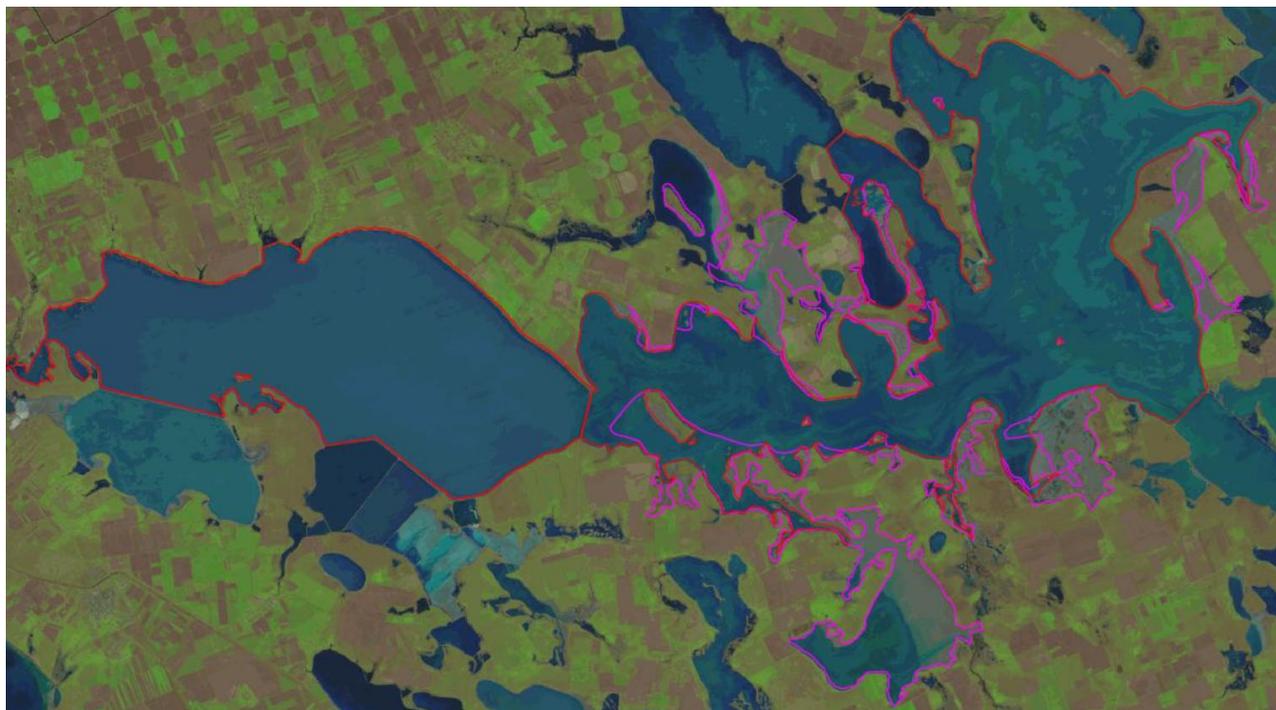


Рис. 3. Карта местности с векторизацией береговых линий (красным цветом) и зон засух (фиолетовым цветом) по снимку за 9 апреля 2017 г.

Для создания ЦМР дна водоема было решено использовать данные батиметрических съемок 2015–2016 гг. в виде растровых изображений как наиболее актуальные.

На начальном этапе выполнялась загрузка растров в САПР. Географическая привязка карты выполнялась с использованием программного обеспечения (ПО) RasterDesign в систему координат проекта на основе картографической проекции Альберса. Для этого использовалась средняя по уровню воды граница водоема, отвекторизованная по космоснимкам. Трансформирование растра осуществлялось по характерным точкам береговой линии с использованием полиномов второй степени (более 20 опорных точек на каждую часть озера). Такой подход позволил выполнить привязку растров в СК проекта с минимальными ис-

кажениями. Изображения дна трансформировались отдельно.

В дальнейшем выполнялась векторизация границы и изобат полилиниями в полуавтоматическом режиме средствами ПО EasyTracePro с ручной корректировкой промежуточных результатов в САПР. Для каждой изолинии указывалось соответствующее значение по уровню. Таким образом, была сформирована основа для создания поверхностных ЦМР дна.

Трехмерное цифровое поверхностное моделирование рельефа дна осуществлялось в программном комплексе Autodesk AutoCAD Civil3D 2016. В последующем 3D-границы, лежащие в основе ЦМР, позволили визуализировать поверхности по их отдалению от отчетной плоскости и сформировать карты глубин. Фрагмент цифровой карты одного из тестовых участков дна водоема представлен на рис. 4.

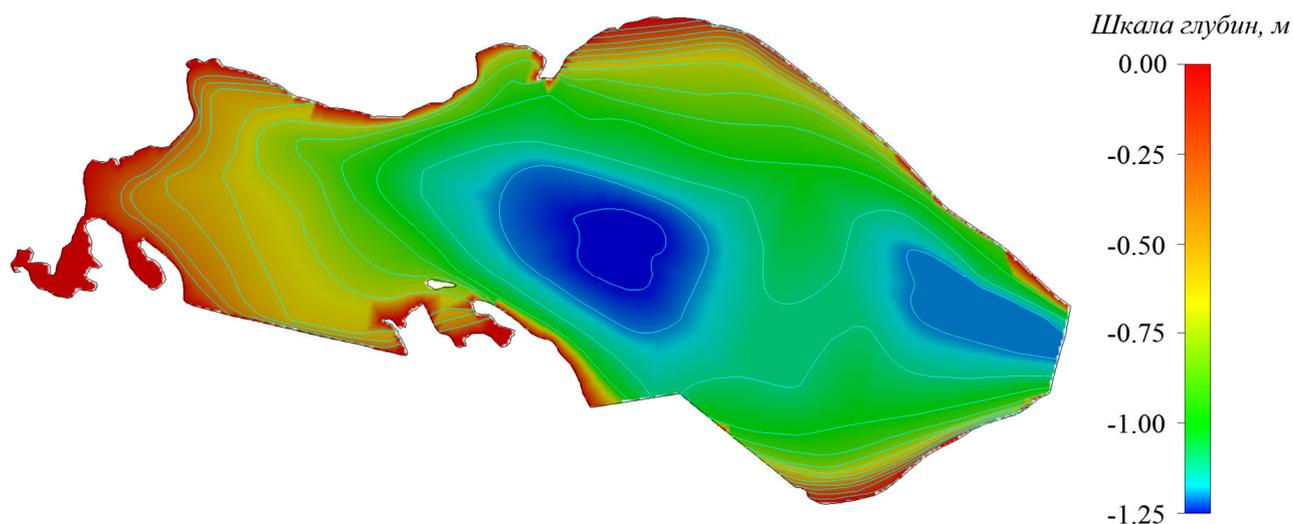


Рис. 4. Фрагмент цифровой карты дна водоема 1 на 9 апреля 2018 г. с учетом растра глубин

Модель построена в картографической проекции, свободной от искажений площади, что позволяет использовать ее для вычисления объемов с использованием различного ПО в прямоугольной пространственной системе координат.

Результаты и обсуждение

Для вычисления объема существует целый ряд законченных программных решений, в частности, Autodesk AutoCAD Civil 3D, CREDO Объемы, Geonics и т. д. В целом, подход к вычислению объемов в современных автоматизированных средствах обязывает иметь 2 поверхности: базовую и поверхность сравнения.

Предложенная методика определения запасов воды водного объекта позволяет вычислить его на произвольную дату. Уровень воды, как уже отмечалось, может определяться с помощью цифровой модели по береговой линии на основе космических снимков.

Сравнение результатов расчета объема запасов воды по разработанной модели и фактических замеров показывает их хорошую сходимость. Усреднив результаты вычислений на основе предлагаемого подхода из соображений того, что космические снимки подобраны на периоды максимального разлива воды и образования засух, по-

лучены значения 186,65 и 174,86 млн м³ для двух тестовых фрагментов водоема соответственно. По данным батиметрической съемки в 4-м квартале 2016 г. значения составили 180,25 и 182,95 млн м³.

Как видно, результаты весьма близкие (несоответствия до 5 %), что свидетельствует о корректности и соответствии созданных цифровых моделей исходным данным. При этом надо учитывать, что даты космоснимков не совпадали с датой батиметрической съемки.

Выводы

Предложенная методика определения запасов воды включает следующие этапы: подготовку космических снимков, приведение (трансформирование) снимков в СК проекта, векторизацию береговой черты озера, вычисление объемов воды с использованием цифровой модели дна водоема. При этом основная работа по обработке космоснимков состоит в векторизации береговой линии по текущему космическому снимку и вычислению объема между двумя поверхностями (зеркало воды и дно водного объекта). Проведена трансформация космоснимков на проекцию, в наибольшей степени соответствующую поверхности Земли на данных широтах. Для выполнения работ

по моделированию рельефа дна была создана единая прямоугольная координатная основа, позволившая минимизировать искажения и разработать цифровые карты (модели) дна водоема.

Разработанная методика показала хороший результат, полученный при сравнении величин объемов воды с данными традиционной батиметрической съемки. Отклонения не превысили 5 % объема воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ // Экологический консалтинг. – 2006. – № 2 (22). – С. 9–33.
2. Колосков Е. Н., Фирсов Ю. Г. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России // Вестник государственного ун-та морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 3 (31). – С. 54–62.
3. Лопаткин Д. А., Шерстянкин П. П. Геоинформационное картографирование рельефа дна озера Байкал // Геодезия и картография. – 2015. – № 3. – С. 22–28.
4. Фирсов Ю. Г. К вопросу о нормативных документах для выполнения гидрографических работ // Навигация и гидрография. – 2006. – № 23. – С. 97–107.
5. Фирсов Ю. Г. Компьютерные технологии для оценки точности площадной съемки рельефа дна // Геодезия и картография. – 2008. – № 8. – С. 35–40.
6. Фирсов Ю. Г., Кожухов И. В. Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки // Вестник государственного ун-та морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2 (24). – С. 17–23.
7. Фирсов Ю. Г. Основные требования к обеспечению качества современной батиметрической (топографической) съемки // Вестник государственного ун-та морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 3 (25). – С. 171–179.
8. Фирсов Ю. Г. Цифровые модели рельефа дна и анализ батиметрических профилей для формирования внешней границы континентального шельфа России в Арктике // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. научн. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. – С. 152–162.
9. Правила Гидрографической службы № 4, ч. 2. – Изд. ГУНиО МО, 1984. – 264 с.
10. РД 31.74.04–2002. Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним. – Ростов н/Д., 2004. – 155 с.
11. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2017. – 83 с.
12. СП-11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания при строительстве. Ч. III «Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства». – М. : Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя России, 2004. – 105 с.
13. IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication No. 44. – 5th ed. – Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.
14. Мовчан И. Б., Яковлева А. А., Асянина В. Ю. Метод опережающего прогноза в задаче снижения нагрузки на ландшафт при планировании детализационных геологических и экологических работ // Записки Горного института. – 2013. – Т. 203. – С. 190–195.
15. Научно-производственное предприятие «ФОРТ XXI» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fort21.ru/kompleksy/amk-skak-dlya-podvodnykh-perekhodov> (дата обращения 21.09.2022).
16. Мустафин М. Г., Баландин В. Н., Брынь М. Я., Матвеев А. Ю., Меньшиков И. В., Фирсов Ю. Г. Топографо-геодезическое и картографическое обеспечение арктической зоны Российской Федерации // Записки Горного института. – 2018. – Т. 232. – С. 375–382.
17. Коротаева А. Э., Пашкевич М. А. Применение данных спектральной съемки для экологического мониторинга водной растительности // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журнал). – 2021. – № 5-2. – С. 231–244.
18. Бабаян В. К., Бобырев А. Е., Булгакова Т. И. и др. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2018. – 312 с.

19. Николаева О. Н., Евграфов А. В., Евграфова И. М. Картографическое моделирование техногенного загрязнения Геленджикской бухты // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 86–95.
20. Малинников В. А., Беленко В. В., Чан Чонг Туан, Чан Суан Чунг. Методика обнаружения и картографирования изменений состояния поверхностных водных объектов Вьетнама по материалам космических съемок // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 3. – С. 58–67.
21. Малинников В. А., Чан Чонг Туан. Проблема загрязнения водных ресурсов в г. Ханой (Вьетнам) и использование дистанционного зондирования для мониторинга загрязнения // Сб. ст. по итогам Междунар. науч.-техн. конф. – М. : МИИГАиК, 2013. – № 6. – С. 106–109.
22. Рылов С. А., Пестунов И. А. Определение площадей озер по данным со спутников серии Sentinel-2 // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии. – 2019. – Т. 12, № 5. – С. 526–535.
23. Чан Чонг Туан. Комплексная методика космического мониторинга поверхностных вод на территории Вьетнама // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 2. – С. 46–50.
24. Баландин В. Н., Меньшиков И. В., Брынь М. Я., Фирсов Ю. Г., Штерн С. Л. Алгоритм вычисления плоских прямоугольных координат, сближения меридианов и масштаба проекции Гаусса в 6-градусной зоне по геодезическим координатам // Записки Горного ин-та. – 2013. – Т. 204. – С. 24–26.
25. Копылова Н. С. Современные подходы к моделированию поверхности земли // География: развитие науки и образования: Коллективная монография по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 155-летию со дня рождения В. И. Вернадского, Санкт-Петербург, 18–21 апреля 2018 года. – СПб. : Российский государственный педагогический ун-т им. А. И. Герцена, 2018. – С. 365–371.
26. Копылова Н. С., Стариков И. П. Оценка метрических свойств отображения геопространственной информации средствами картографических веб-технологий для района Арктики и континентального шельфа // Геодезия и картография. – 2021. – № 5. – С. 15–22.

Об авторах

Мурат Газизович Мустафин – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой инженерной геодезии.

Вячеслав Александрович Вальков – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии.

Никита Сергеевич Павлов – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии.

Константин Павлович Виноградов – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии.

Анна Андреевна Боголюбова – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии.

Получено 23.09.2022

© *М. Г. Мустафин, В. А. Вальков, Н. С. Павлов, К. П. Виноградов, А. А. Боголюбова, 2023*

Monitoring of water bodies by remote methods

M. G. Mustafin¹, V. A. Valkov^{1}, N. S. Pavlov¹, K. P. Vinogradov¹, A. A. Bogolyubova¹*

¹ St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

* e-mail: Valkov_VA@pers.spmi.ru

Abstract. A technique has been developed that allows determining the volume of water resources of hydrographic objects using materials from remote sensing of the Earth and a digital terrain model (DEM) of the terrain. The task is relevant, especially in conditions of inaccessibility or difficult approaches to the object. The technique includes the use or construction of a DEM of the bottom of a water body according to bathymetric survey data, the transformation of satellite images into a projection most corresponding to the Earth's surface at these latitudes, the definition of the contour of the shoreline of the reservoir and the calculation of the volume of water. For the purpose of testing,

a shallow-water object was selected on the territory of Russia, for which seasonal fluctuations in the water level lead to significant changes in resources. The results revealed a good convergence of the proposed approaches with the accumulated materials of traditional bathymetric survey.

Keywords: water object, monitoring, water volume, satellite image, vectorization, transformation, digital relief model

REFERENCES

1. Water Code of the Russian Federation of June 03, 2006 No. 74-FZ. (2006). *Ekologicheskiy konsalting [Environmental Consulting]*, 2(22), 9–33 [in Russian].
2. Koloskov, E. N. & Firsov, Yu. G. (2015). Application of modern hydrographic technologies for studying the relief and bottom gas occurrence in the northern seas of Russia. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova [Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet]*, 3(31), 54–62 [in Russian].
3. Lopatkin, D. A., & Sherstyankin, P. P. (2015). Geoinformation mapping of the bottom relief of Lake Baikal. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 3, 22–28 [in Russian].
4. Firsov, Yu. G. (2006). On the issue of regulatory documents for performing hydrographic works. *Navigatsiya i gidrografiya [Navigation and Hydrography]*, 23, 97–107 [in Russian].
5. Firsov, Yu. G. (2008). Computer technologies for assessing the accuracy of the areal survey of the bottom relief. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 35–40 [in Russian].
6. Firsov, Yu. G., & Kozhukhov, I. V. (2014). New methods of spatial visualization of the results of engineering bathymetric survey. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova [Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet]*, 2(24), 17–23 [in Russian].
7. Firsov, Yu. G. (2014). Basic requirements for quality assurance of modern bathymetric (topographic) survey. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova [Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet]*, 3(25), 171–179 [in Russian].
8. Firsov, Yu. G. (2011). Digital models of the bottom relief and analysis of bathymetric profiles for the formation of the outer boundary of the continental shelf of Russia in the Arctic. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2011: Plenarnoe zasedanie [Proceedings of GEO-Siberia-2011: Plenary Session]* (pp. 152–162). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
9. Rules of the Hydrographic Service: No. 4, Part 2. (1984). Main Department of Navigation and Oceanography of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 264 p. [in Russian].
10. Detailed Design Documents. (2004). RD 31.74.04-2002. Technology of measuring works in the production of dredging and depth control for the safety of navigation of ships in seaports and approaches to them. Rostov-on-Don, 155 p. [in Russian].
11. Code of Practice. (2017). SP 47.13330.2016. Engineering surveys for construction. Basic provisions. Moscow: Standartinform Publ., 83 p. [in Russian].
12. Code of Practice. (2004). SP-11-104-97. Engineering and Geodetic Surveys in Construction: Part III, Engineering and Hydrographic Works in Engineering Surveys for Construction. Moscow: Production and Research Institute for Engineering Surveys in Construction of the State Building of Russia Publ., 105 p. [in Russian].
13. IHO Standards for Hydrographic Surveys. (2008). Special Publication No. 44 (5th ed.). Monaco: International Hydrographic Bureau.
14. Movchan, I. B., Yakovleva, A. A., & Asyanina, V. Yu. (2013). The method of advanced forecasting in the task of reducing the load on the landscape when planning detailed geological and environmental works. *Zapiski Gornogo instituta [Notes of the Mining Institute]*, 203, 190–195 [in Russian].
15. Scientific and production Enterprise "FORT XXI". (n. d.). Retrieved from <https://www.fort21.ru/kompleksy/amk-skat-dlya-podvodnykh-perekhodov> (accessed September 21, 2022) [in Russian].
16. Mustafin, M. G., Balandin, V. N., Bryn, M. Ya., Matveev, A. Yu., Menshikov, I. V., & Firsov, Yu. G. (2018). Topographic-geodetic and cartographic support of the Arctic zone of the Russian Federation. *Zapiski Gornogo instituta [Notes of the Mining Institute]*, 232, 375–382 [in Russian].
17. Korotaeva, A. E., & Pashkevich, M. A. (2021). Application of spectral survey data for ecological monitoring of aquatic vegetation. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)*

nal) [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 5-2, 231–244 [in Russian].

18. Babayan, V. K., Bobyrev, A. E., Bulgakova T. I., & et al. (2018). *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zapasov prioritnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* [Methodological recommendations for assessing stocks of priority species of aquatic biological resources]. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography Publ., 312 p. [in Russian].

19. Nikolaeva, O. N., Evgrafov, A. V., & Evgrafova, I. M. (2021). Cartographic modeling of technogenic pollution of Gelendzhik Bay. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 26(6), 86–95 [in Russian].

20. Malinnikov, V. A., Belenko, V. V., Chan Chong Tuan, & Chan Xuan Chung. (2015). Methodology for detecting and mapping changes in the state of surface water bodies in Vietnam based on space surveys. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka* [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying], 3, 58–67 [in Russian].

21. Malinnikov, V. A., & Chan Chong Tuan. (2013). The problem of water pollution in Hanoi (Vietnam) and the use of remote sensing for pollution monitoring. In *Sbornik statey po itogam mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsiy: No. 6* [Collection of Articles on the Results of International Scientific and Technical Conferences: No. 6] (pp. 106–109). Moscow: MIIGAiK Publ. [in Russian].

22. Rylov, S. A., & Pestunov, I. A. (2019), Determination of lake areas according to Sentinel-2 satellite data. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* [Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology], 12(5), 526–535 [in Russian].

23. Chan Chong Tuan. (2015). Complex methodology of space monitoring of surface waters on the territory of Vietnam. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka* [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying], 2, 46–50 [in Russian].

24. Balandin, V. N., Menshikov, I. V., Bryn, M. Ya., Firsov, Yu. G., & Stern S. L. (2013). Algorithm for calculating flat rectangular coordinates, convergence of meridians and the scale of the Gauss projection in a 6-degree zone according to geodetic coordinates. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], 204, 24–26 [in Russian].

25. Kopylova, N. S. (2018). Modern approaches to modeling the Earth's surface. In *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya* [Geography: Development of Science and Education] (pp. 365–371). St. Petersburg: A. I. Herzen Russian State Pedagogical University Publ. [in Russian].

26. Kopylova, N. S., & Starikov, I. P. (2021). Evaluation of metric properties of geospatial information display by means of cartographic web technologies for the Arctic region and the continental shelf. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography], 5, 15–22 [in Russian].

Author details

Murat G. Mustafin – D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy.

Vyacheslav A. Valkov – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Nikita S. Pavlov – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Konstantin P. Vinogradov – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Anna A. Bogolyubova – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Received 23.09.2022

© M. G. Mustafin, V. A. Valkov, N. S. Pavlov,
K. P. Vinogradov, A. A. Bogolyubova, 2023