

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Л. Н. Оскирко, старший научный сотрудник
В. М. Макоед, ведущий научный сотрудник
О. Г. Бондарчук, старший научный сотрудник
РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Для изучения особенностей и ограничений, присущих различным методам съемки рельефа, проведен сравнительный анализ цифровых моделей рельефа мелиоративных объектов, построенных на основе материалов наземной топографической съемки, цифровой аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования с беспилотных летательных аппаратов. Установлено, что для задач проектирования мелиоративных мероприятий, расчета морфометрических характеристик рельефа и моделирования поверхностного стока целесообразно использовать комбинированный метод съемки рельефа, при котором съемка объекта осуществляется с помощью аэрофототопографических методов с последующим дополнительным выполнением наземной съемки в труднодоступных для дистанционных видов съемки местах, таких как заполненные водой замкнутые понижения, заросшие густой древесно-кустарниковой растительностью участки и др.

Ключевые слова: мелиоративные изыскания, цифровая модель рельефа, цифровая аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование, беспилотный летательный аппарат, замкнутые понижения рельефа.

Abstract

L. N. Oskirko, V. M. Makoed, O. G. Bondarchuk

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIGITAL TERRAIN MODELS OF LAND RECLAMATION OBJECTS CREATED BY VARIOUS AERIAL PHOTOTOPOGRAPHIC METHODS

To study the features and limitations inherent in various methods of relief survey, a comparative analysis of digital terrain models of land reclamation objects based on ground topographic survey materials, digital aerial photography from unmanned aerial vehicles and aerial laser scanning was carried out. It is established that for the design of land reclamation measures, calculation of relief morphometric characteristics and modeling surface runoff, it is advisable to use a combined method of terrain survey, in which the survey of an object is carried out using aerial topographic methods followed by additional ground survey in places that are difficult to access for remote types of survey, such as drainless depressions filled with water, areas overgrown with dense trees and shrubby vegetation and etc.

Keywords: land reclamation surveys, digital terrain model, digital aerial photography, airborne laser scanning, unmanned aerial vehicle, drainless depressions.

Введение

Актуальные и достоверные данные о рельефе местности и его характеристиках, выраженных через количественные морфометрические показатели, являются необходимым условием для решения широкого круга научных и прикладных задач. Так, рельеф местности – это один из основных факторов, учитываемых при разработке проектов строительства и реконструкции мелиоративных систем. Формы рельефа определяют величины водосборных площадей, неравномерное распределение осадков по территории и динамику поверхностного стока, а следовательно –

но, дифференциацию интенсивности водного питания грунтовых вод, вызывая затруднение стока на плоских участках и в замкнутых понижениях, что вкупе с притоком воды с прилегающих возвышенных элементов рельефа приводит к переувлажнению почвы и застою поверхностных вод. Несвоевременное отведение избыточной влаги формирует неблагоприятный водный режим в корнеобитаемом слое почвы, осложняет обработку почвы сельскохозяйственной техникой и ухудшает условия возделывания сельскохозяйственных культур.

В связи с этим рельеф является важнейшей характеристикой, определяющей проектирование площадного и высотного расположения мелиоративной сети, причем с точки зрения отвода как грунтовых, так и поверхностных вод. Поэтому наличие надежных данных по рельефу и эффективных процедур расчета объемов застоя поверхностных вод для использования в проектных расчетах представляет особую актуальность при проектировании реконструкции мелиоративных систем, в том числе мероприятий по устранению застоя поверхностных вод.

В настоящее время топографическая съемка рельефа в рамках топографо-геодезических изысканий для проектов строительства и реконструкции мелиоративных систем производится преимущественно наземными методами с использованием электронных тахеометров, а также приемников систем спутниковой навигации (GNSS) в режиме кинематики в реальном времени (RTK) либо в постобработке (PPK). На основании массива высотных отметок, полученных в результате такой съемки, в специализированном программном обеспечении (КРЕДО, AutoCAD и т. п.) строятся триангуляционные (TIN) цифровые модели рельефа (ЦМР), по которым генерируются горизонталы с необходимой высотой сечения рельефа [1].

Топографо-геодезическая съемка мелиоративных объектов выполняется в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа 0,5 м, при наличии развитого микрорельефа – 0,25 м. На равнинной местности пикетные точки набираются не реже чем через 40 м местности при сечении рельефа 0,5 м (не менее 25 точек/дм²

Методика и объекты исследования

Для сравнения были построены ЦМР по результатам различных видов съемки, выполненной на объектах мелиоративного строительства «Осушение высокоплодородных земель у д. Литовск на землях СП "Газовик-Сипаково" (филиал РУП «Могилевоблгаз» Шкловского р-на Могилевской обл.; площадь 409 га, далее – объект «Литовск») и «Осушение высокоплодородных земель у д. Брасуки на землях СП "Газовик-Сипаково"» (филиал РУП «Могилевоблгаз» Шкловского р-на Могилевской обл. (площадь 258 га, далее – объект «Барсуки»).

в масштабе плана) и не реже чем через 20 м при сечении рельефа 0,25 м. Формы микрорельефа изображаются полугоризонталями или вспомогательными горизонталями [2].

Составление топографических планов с отображением микрорельефа связано с трудностями выявления микрозападин. Поэтому при съемке рельефа для определения западин глубиной 0,10–0,25 м расстояние между съемочными пикетами не должно превышать 10–20 м [3].

В последнее десятилетие широкое распространение получили аэрофототопографические методы съемки, в том числе цифровая аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и воздушное лазерное сканирование (лидарная съемка), позволяющие получать более точно соответствующие реальной поверхности цифровые модели рельефа и при этом обеспечивающие высокую производительность работ. При использовании данных методов цифровая модель рельефа строится на основе плотного облака точек, получаемого путем обработки данных различных сенсоров летательных аппаратов.

Для изучения особенностей цифровых моделей рельефа, создаваемых с помощью дистанционных методов, анализа их преимуществ и недостатков, а также применимости при проектировании реконструкции и строительства мелиоративных объектов, расчета морфометрических характеристик рельефа и моделирования поверхностного стока был выполнен сравнительный анализ ЦМР тестовых мелиоративных объектов, построенных по результатам различных видов съемки.

Оба объекта расположены в южной части Шкловского р-на Могилевской обл. на правобережье р. Днепр, в пределах Оршанско-Могилевской равнины. Рельеф местности – равнинно-волнистый и равнинно-холмистый, расчлененный глубоковрезанными ложбинами и балками. Абсолютные высоты рельефа на объекте «Литовск» находятся в пределах 161–207 м, на объекте «Барсуки» – 178–207 м. Уклоны поверхности составляют от 1–2° (на возвышенных водораздельных участках) до 8–10° на склонах оврагов и балок (местами свыше 20°). Рельеф объекта «Литовск» харак-

теризуется более развитой ложбинной сетью по сравнению с объектом «Барсуки».

Особенность рельефа обоих объектов – обилие замкнутых понижений, представляющих собой западины различной величины, образовавшиеся в результате суффозионных процессов на лессовидных суглинках и лессах. В периоды весеннего половодья и летне-осенних паводков в западинах скапливается и застаивается вода, что приводит к вымоканию посевов сельскохозяйственных культур и затрудняет передвижение сельскохозяйственной техники.

В период проведения съемок большая часть сельскохозяйственных земель была занята посевами озимых в стадии весеннего кущения, северная часть объекта «Литовск» находилась в распаханном состоянии. Земли, приуроченные к оврагам и балкам, поросли густым высокотравьем и древесно-кустарниковой растительностью (ДКР). В переувлажненных замкнутых понижениях произрастала влаголюбивая болотная растительность – осоки, тростник и ДКР, которая представлена в основном ивой, осинкой, ольхой и березой. Площадь земель, покрытых ДКР, на объекте «Литовск» – 42 га (около 15 % от площади объекта), на объекте «Барсуки» – 25 га (12 %). В период проведения изысканий западины были заполнены водой.

Аэрофотосъемка объектов производилась 29 апреля 2022 г. компанией «КВАНД ИС» с

помощью беспилотного летательного аппарата самолетного типа BOREY-10 с цифровой камерой Sony α6000. Для координатной привязки снимков использовались высокоточное бортовое GNSS-оборудование (OEM плата TR-3N) и данные Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь (далее – ССТП РБ). Контроль плановой и вертикальной точности материалов, полученных в результате аэрофотосъемки, осуществлялся с помощью наземных контрольных точек, закрепленных на местности опознавательными знаками. Их координаты были определены геодезическим двухчастотным GNSS-приемником JAVAD TRIUMPH-2 в режиме RTK с использованием ССТП РБ.

Обработка полученных данных осуществлялась в программном обеспечении *Agisoft Metashape*. На основании материалов аэрофотосъемки были выполнены ортофотопланы исследуемых мелиоративных объектов (*а* – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки») с пространственным разрешением 5 см/пиксел (рис. 1), а также растровые цифровые модели местности (ЦММ) в формате GeoTIFF с пространственным разрешением 30 см/пиксел. Из плотного облака точек при помощи автоматической классификации были выделены отметки земли, на основе которых были созданы ЦМР с таким же разрешением (рис. 2). Для наглядности вертикальный масштаб на рис. 2, 3 увеличен в 10 раз.



Рис. 1. Ортофотопланы, построенные по результатам аэрофотосъемки:
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

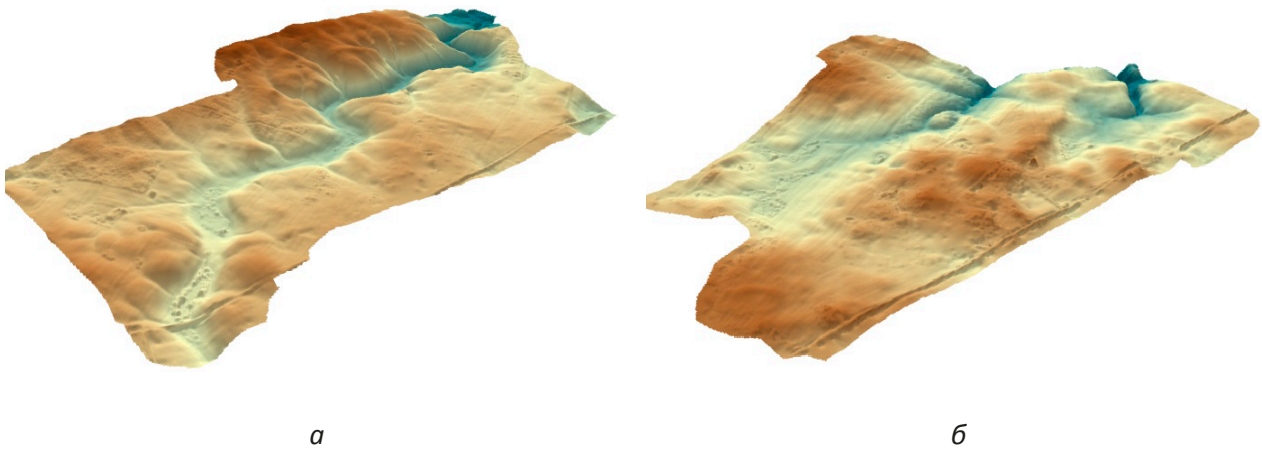


Рис. 2. Цифровые модели рельефа, построенные по результатам аэрофотосъемки:
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

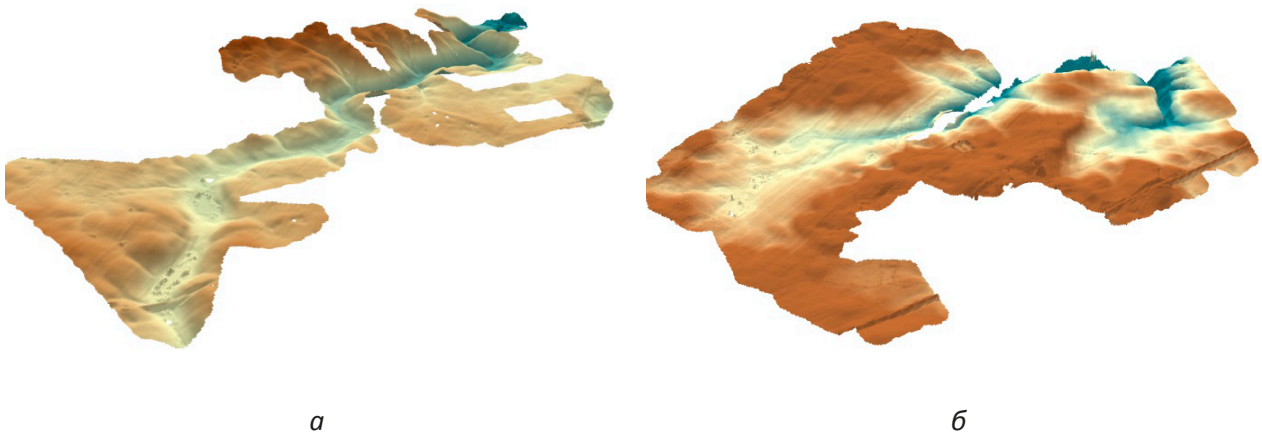


Рис. 3. Цифровые модели рельефа, построенные с помощью воздушного лазерного сканирования
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

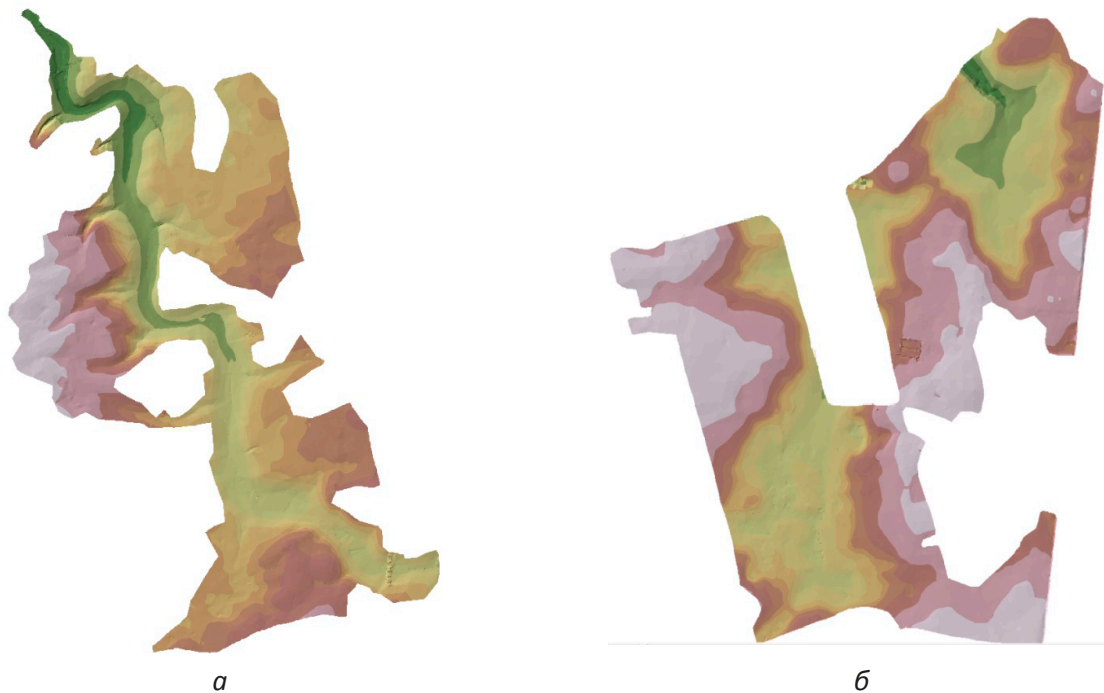


Рис. 4. Цифровые модели рельефа, построенные методом TIN по данным наземной съемки
а – объект «Литовск»; *б* – объект «Барсуки»

Съемка рельефа тестовых объектов методом воздушного лазерного сканирования производилась 10–11 мая 2022 г. совместно с сотрудниками факультета географии и геоинформатики БГУ при помощи лидара DJI Zenmuse L1, установленного на платформу БПЛА мультироторного типа (квадрокоптер) DJI Matrice 300 RTK. Для координатной привязки использовалось высокоточное бортовое GNSS-оборудование в режиме RTK с использованием ССТП РБ.

В результате обработки данных, полученных с датчиков лидара, было построено плотное облако точек. При помощи автоматической классификации из него выделены отметки земли, на основе которых созданы растровые цифровые модели рельефа, сохраненные в формате GeoTIFF с пространственным разрешением 30 см/пиксел (см. рис. 3).

Точность высот ЦМР, построенных с применением аэрофототопографических методов съемки, оценивалась относительно отметок высот рельефа, полученных в рамках топографо-геодезических изысканий, которые выполнялись проектными организациями на территории объектов «Литовск» и «Барсуки» в марте – апреле 2022 г. методом GNSS-съемки в режиме RTK. Уточним, что для сравнения использовались не отдельные точки, закрепленные опознавательными знаками на мест-

ности, а весь массив отметок высот рельефа, геопривязанных в системе координат топопланов.

Из электронных чертежей топографических планов масштаба 1 : 2000, выполненных в формате DWG, были извлечены точки со значениями отметок высот рельефа, а также горизонталь и структурные линии. Количество точек с отметками высот для объекта «Литовск» составило 5764, для объекта «Барсуки» – 2067. На основе полученных данных с применением метода TIN были построены цифровые модели рельефа тестовых объектов (см. рис. 4). Затем TIN был конвертирован в растровый формат GeoTIFF для последующего сравнения с ЦМР, построенными с помощью аэрофототопографических методов.

Из общего массива точек с отметками высот были выбраны точки, попадающие в границы как ЦМР, созданных по результатам аэрофотосъемки с БПЛА (ЦМР АФС), так и ЦМР, созданных по результатам воздушного лазерного сканирования (ЦМР ВЛС): 5063 точки для объекта «Литовск» и 1959 точек для объекта «Барсуки». Из ЦМР АФС и ЦМР ВЛС с помощью инструмента *Add Surface Information* модуля ArcGIS 3D Analyst в атрибутивную таблицу точек топосъемки были извлечены высоты, соответствующие местоположению отметок высот топопланов.

Результаты исследований и их обсуждение

Исходными показателями для оценки точности служили разности высот ΔH соответствующих цифровых моделей рельефа ($H_{\text{ЦМР}}$) и отметок топосъемки ($H_{\text{Топо}}$):

$$\Delta H = H_{\text{ЦМР}} - H_{\text{Топо}} \tag{1}$$

На основе полученных данных были построены гистограммы распределения ошибок для каждой ЦМР (рис. 5–6).

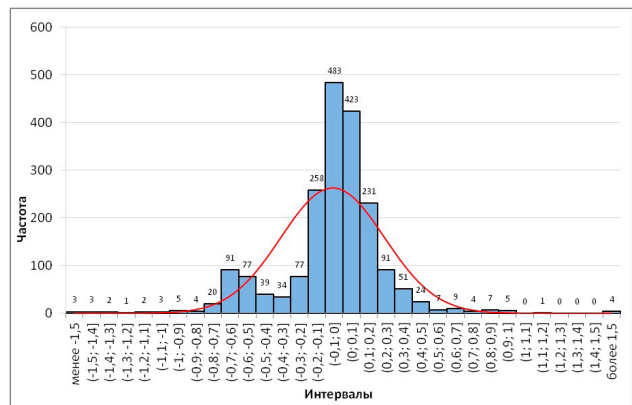
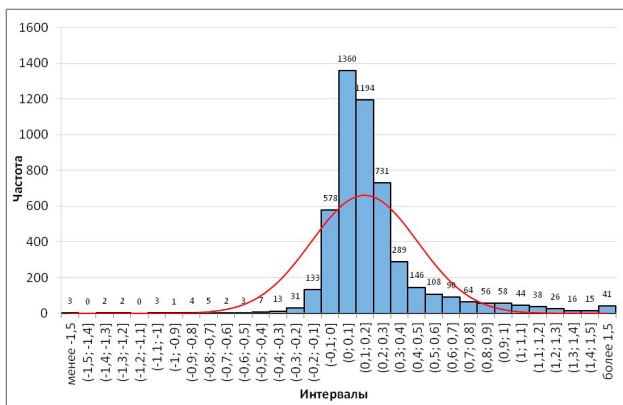


Рис. 5. Гистограммы распределения ошибок высот ЦМР АФС: а – объект «Литовск»; б – объект «Барсуки»

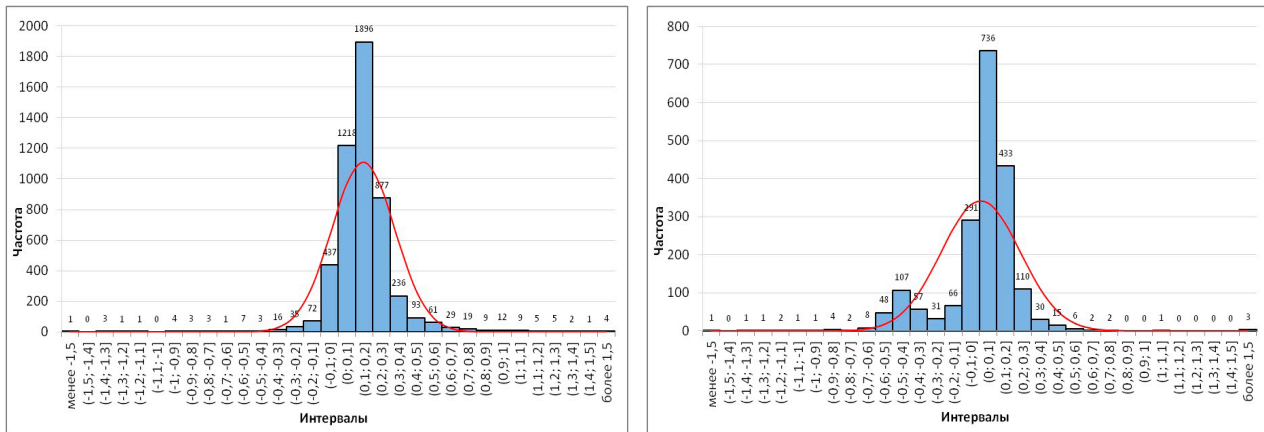


Рис. 6. Гистограммы распределения ошибок высот ЦМР ВЛС
 а – объект «Литовск»; б – объект «Барсуки»

Общий визуальный анализ гистограмм показал следующее:

- гистограммы распределения ошибок ЦМР ВЛС характеризуются меньшим разбросом значений, чем гистограммы ЦМР АФС;
- на гистограммах распределения ошибок высот ЦМР объекта «Барсуки» наблюдаются аномальные выбросы в интервалах от $-0,4$ до $-0,7$ м для ЦМР АФС и от $-0,3$ до $-0,6$ м для ЦМР ВЛС, и, так как данная аномалия наблюдается на обеих гистограммах, можно предположить, что это является следствием погрешности, допущенной при проведении наземной топосъемки;
- в общем случае (при исключении данной аномалии) наблюдается скос гистограмм в сторону положительных значений, что свидетельствует о влиянии растительности, неотфильтрованной алгоритмами автоматической классификации, при этом правая асимметрия более явно выражена у гистограмм ЦМР АФС.

На основе обработки всей совокупности пар значений рассчитаны следующие статистические показатели точности высотной составляющей ЦМР [4, 5]:

- среднее значение разности высот ЦМР и пикетных точек (систематическая ошибка):

$$\Delta H_{\text{ср.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i, \quad (2)$$

где n – число точек;

- минимальное (ΔH_{min}) и максимальное (ΔH_{max}) значения разностей высот;
- среднеквадратическая ошибка:

$$RMSE_{\Delta H} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}; \quad (3)$$

- средняя абсолютная ошибка:

$$MAE_{\Delta H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta H_i|; \quad (4)$$

- стандартное отклонение:

$$SD_{\Delta H} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta H_i - \Delta H_{\text{ср.}})^2}; \quad (5)$$

- вероятная линейная ошибка $LE90$, то есть величина, которую с вероятностью 90 % не превзойдет отклонение по высоте оцениваемой точки от ее контрольного значения, рассчитываемая в соответствии с [6]:

$$LE90_{\Delta H} = 1,645 \cdot SD_{\Delta H}. \quad (6)$$

Статистические показатели оценки точности по результатам обработки всей совокупности данных приведены в табл. 1. Для наглядности, помимо ошибок ЦМР, в таблицу включены также ошибки, рассчитанные при сравнении высот цифровых моделей местности, построенных по результатам аэрофотосъемки (ЦММ АФС).

Таблица 1. Показатели точности высот моделей поверхности, м

Характеристика	Объект «Литовск»			Объект «Барсуки»		
	ЦММ АФС	ЦМР АФС	ЦМР ВЛС	ЦММ АФС	ЦМР АФС	ЦМР ВЛС
Количество точек, шт.	5063	5063	5063	1959	1959	1959
Среднее значение разности высот (систематическая ошибка) $\Delta H_{\text{ср.}}$	0,61	0,20	0,15	0,29	-0,06	0,01
Минимальное значение разности высот ΔH_{min}	-1,72	-1,72	-1,60	-2,48	-2,48	-2,55
Максимальное значение разности высот ΔH_{max}	17,61	2,89	2,84	15,55	2,49	2,67
Среднеквадратическая ошибка $\text{RMSE}_{\Delta H}$	1,95	0,38	0,23	1,67	0,32	0,24
Средняя абсолютная ошибка $\text{MAE}_{\Delta H}$	0,64	0,23	0,17	0,52	0,20	0,15
Стандартное отклонение $\text{SD}_{\Delta H}$	1,85	0,32	0,18	1,65	0,31	0,24
Вероятная линейная ошибка $\text{LE90}_{\Delta H}$	–	0,53	0,30	–	0,51	0,40

На основании анализа полученных величин ошибок можно сделать следующие выводы:

- значения ошибок ЦМР ВЛС во всех случаях меньше, чем ЦМР АФС;

- большие значения ΔH_{max} для ЦММ АФС (то есть поверхности без фильтрации растительности) свидетельствуют о наличии на участке топосъемки ДКР соответствующей высоты, прочие значения ошибок для данной модели поверхности также ожидаемо более высокие, чем у ЦМР;

- значения средней абсолютной ошибки ЦМР АФС больше, чем у ЦМР ВЛС, на 5–6 см (примерно в 1,3 раза) на обоих участках;

- значения среднеквадратической ошибки и стандартного отклонения у ЦМР АФС больше, чем у ЦМР ВЛС на 14–15 см для объекта «Литовск» и на 7–8 см для объекта «Барсуки», что связано с большей степенью расчлененности рельефа местности объекта «Литовск», систематическая ошибка $\Delta H_{\text{ср.}}$ также имеет заметно большее значение на объекте «Литовск».

В соответствии с [1] для топографических планов масштаба 1 : 2000 средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек съемочной геодезической сети не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа: 1/4 — при углах наклона до 2°; 1/3 — при углах наклона свыше 2°.

Принимая во внимание, что значение средней абсолютной ошибки высоты ЦМР ВЛС составило 0,17 м для объекта «Литовск» и 0,15 м

для объекта «Барсуки» и то, что на территории объектов преобладают уклоны рельефа более 2°, можно сделать вывод о возможности использования ЦМР, полученной по материалам воздушного лазерного сканирования, для создания топографических планов с высотой сечения рельефа 0,5 м.

При анализе ошибок в контрольных точках следует учитывать, что плотность точек при выполнении съемки аэрофототопографическими методами (до 10–20 точек на кв. м) значительно выше, чем при наземной топосъемке. Данное обстоятельство позволяет получать цифровую модель рельефа, более приближенную к реальной поверхности участка, и, как следствие, выявлять элементы микро- и даже нанорельефа, пропущенные при построении ЦМР по результатам наземной топосъемки.

Для анализа пространственного распределения отклонения высот по территории объектов при помощи инструмента *Map Algebra* модуля *ArcGIS Spatial Analyst* были получены карты разностей высот цифровых моделей рельефа, построенных по результатам наземной топосъемки (ЦМР Топо, см. рис. 5), и цифровых моделей рельефа, построенных аэрофототопографическими методами (ЦМР АФС и ЦМР ВЛС, см. рис. 3–4). Результаты сравнения в виде растров разностей высот представлены на рис. 7–8.

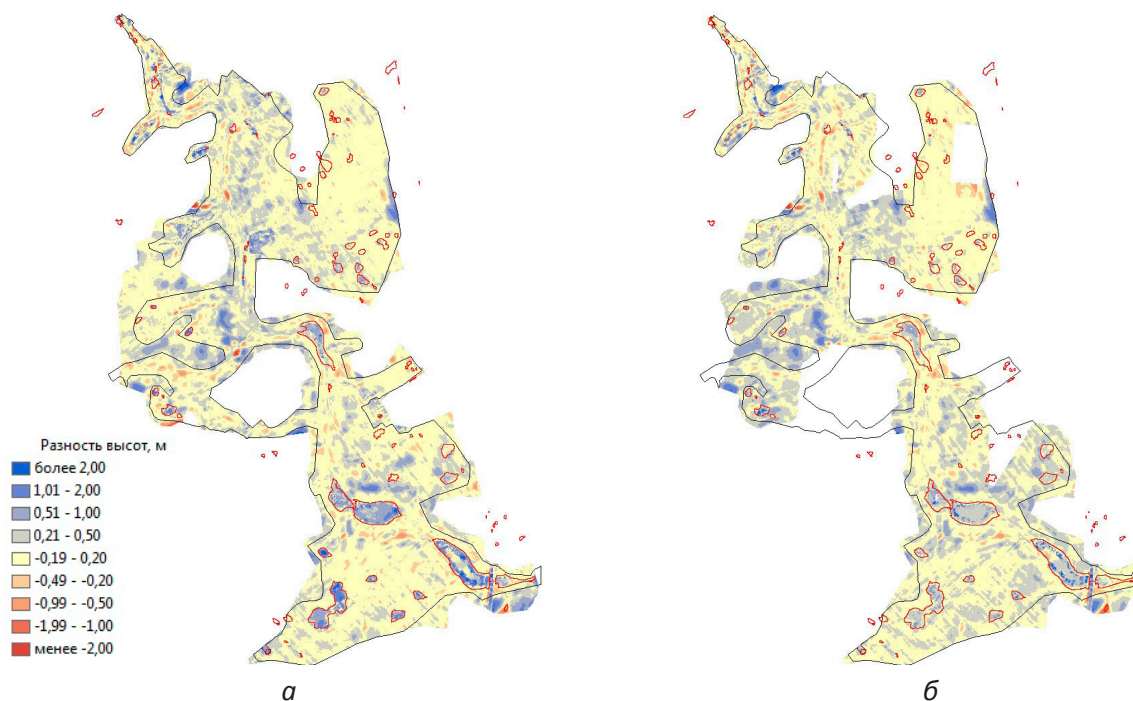


Рис. 7. Растры разностей высот ЦМР (объект «Литовск»):
а – ЦМР АФС – ЦМР Топо; *б* – ЦМР ВЛС – ЦМР Топо



Рис. 8. Растры разностей высот ЦМР (объект «Барсуки»):
а – ЦМР АФС – ЦМР Топо; *б* – ЦМР ВЛС – ЦМР Топо

Анализ разностных растров ЦМР показывает следующее:

- наибольшие положительные отклонения (то есть области, обозначенные синим цветом, в которых ЦМР АФС и ЦМР ВЛС выше, чем ЦМР Топо) наблюдаются в заполненных водой замкнутых понижениях, где рельеф дна

не был вскрыт ни одним из методов дистанционной съемки;

- на растрах ЦМР АФС, в отличие от растров ЦМР ВЛС, наибольшие положительные отклонения относительно высот топосъемки ожидаемо приходятся также на участки, покрытые ДКР, в том числе заросшие ложбины и западины;

- алгоритмы автоматической классификации точек плотного облака данных ВЛС хуже справляются с выделением растительности в замкнутых понижениях, заполненных водой, что, очевидно, связано как с особенностями отражающей поверхности, так и с большей густотой влаголюбивой растительности;

- на открытых участках местности положительные отклонения соответствуют местам, где по результатам наземной топосъемки, из-за недостаточной густоты пикетных точек или их неправильного расположения, не были выявлены положительные элементы микрорельефа (повышения, холмики, бугры, выпуклости склонов и т. п.);

- отрицательные отклонения (то есть области, обозначенные красным цветом, в которых ЦМР АФС и ЦМР ВЛС выше, чем ЦМР Топо) соответствуют местам, где наземной топосъемкой не были выявлены отрицательные формы

Заключение

В результате рассмотрения особенностей и ограничений, присущих различным методам съемки рельефа, сделаны следующие выводы.

1. Плотность точек, полученных с помощью аэрофототопографических методов, позволяет получить цифровую модель рельефа, наиболее приближенную к реальной поверхности участка, вплоть до выделения объектов микро- и нанорельефа, пропущенных при построении ЦМР по результатам наземной топосъемки.

2. К преимуществам аэрофототопографических методов также относятся более короткие – по сравнению с наземными видами съемки – сроки выполнения полевых изысканий и камеральной обработки полученных данных.

3. В весенний период выполнение наземной съемки затрудняется переувлажненным состоянием почвы, при этом важным преимуществом аэрофототопографических методов съемки является их дистанционность.

4. Для получения достоверных результатов съемка рельефа с применением аэрофототопографических методов должна выполняться в относительно короткие промежутки времени – между сходом снежного покрова с полей и началом активной вегетации сельскохозяй-

микрорельефа (замкнутые микропонижения рельефа, небольшие ложбины, промоины), вогнутость склонов в целом;

- на обоих растрах разностей высот ЦМР объекта «Барсуки» наблюдается отрицательная аномалия – область красного цвета в центре растра. Так как она отмечается в данных, полученных в результате обеих независимо проведенных аэрофототопографических съемок, то, вероятнее всего, причина этого заключается в погрешности, допущенной при проведении наземной топосъемки, из-за чего значения высот на данном участке были завышены примерно на 0,3–0,5 м. Это могло произойти, например, вследствие потери сигнала базовой станции, спутников, неправильно установленной высоты вешки, ошибок, допущенных при камеральной обработке данных и пр.

ственных культур либо после уборки сельскохозяйственных посевов с полей.

5. Цифровая аэрофотосъемка не дает точных отметок высот поверхности земли, покрытой густой растительностью, что представляет собой существенный недостаток, поскольку требующие реконструкции мелиорированные земли, как правило, характеризуются наличием участков, покрытых древесно-кустарниковой растительностью.

6. Лидарная съемка, в отличие от цифровой аэрофотосъемки рельефа, позволяет получить рельеф даже покрытой ДКР поверхности, что составляет ее главное преимущество. Возможности обоих видов дистанционной съемки (АФС и ВЛС) на непокрытой растительностью местности, в том числе для выявления объектов микрорельефа, сопоставимы.

7. Аэрофототопографические методы непригодны для съемки рельефа в замкнутых понижениях, заполненных водой, что является их недостатком, поскольку требующие реконструкции мелиорированные земли, как правило, характеризуются неблагоприятным водным режимом с наличием многочисленных подтопленных западин.

8. Применение аэрофототопографических методов требует дополнительных затрат на приобретение дорогостоящего оборудования

и программного обеспечения, а также наличия работников соответствующей квалификации.

Таким образом, при создании цифровых моделей рельефа для задач проектирования мелиоративных мероприятий, расчета морфометрических характеристик рельефа и моделирования поверхностного стока целесообразно использовать комбинированный метод,

при котором съемка объекта осуществляется с помощью аэрофототопографических методов (причем при значительной заустаренности предпочтительнее ВЛС) с последующим дополнительным выполнением наземной топосъемки в труднодоступных для дистанционных видов съемки местах, таких как заполненные водой замкнутые понижения.

Библиографический список

1. Инженерные изыскания для строительства : СН 1.02.01-2019. – Введ. 26.12.2019. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 108 с.
2. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской ССР : РПИ-82 / М-во мелиорации и вод. хоз-ва БССР, Белгипроводхоз ; гл. ред. П. Е. Лапчук ; ред. комиссия: Г. В. Азява [и др.]. – 1984. – Ч. 12. Топографо-геодезические работы. – 211 с.
3. Рекомендации по проектированию мероприятий по организации поверхностного стока на осушаемых минеральных землях / М-во мелиорации и вод. хоз-ва СССР, Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиорации и вод. хоз-ва; сост. Ш. И. Брусиловский [и др.]. – Минск, 1983. – 55 с.
4. Höhle, J. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods / J. Höhle, M. Höhle // ISPRS. Journ. of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 64, iss. 4. – P. 398-406. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.02.003>
5. Mesa-Mingorance, J. L. Accuracy assessment of digital elevation models (DEMs): A Critical Review of Practices of the Past Three Decades [Electronic resource] / J. L. Mesa-Mingorance, F. J. Ariza-López // Remote Sensing. – 2020. – № 12(16). – Mode of access: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2630/review_report. – Date of access: 24.11.2023. <https://doi.org/10.3390/rs12162630>
6. Титаров, П. С. Характеристики точности координат точек местности – СЕ и LE / П. С. Титаров // Геопрофи. – 2010. – № 1. – С. 52–53.

Поступила 14 ноября 2023 г.