

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ВЫСПА

А. А. Сазонов¹⁾, П. С. Курлович¹⁾, И. С. Князев¹⁾, А. Н. Вашанов²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, пр. Независимости, 4, 220030, Беларусь, email: alexey.szonov@gmail.com;

²⁾ Государственное научное учреждение «Институт истории Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, ул. Академическая, 1, 220072, Беларусь

Впервые представлены результаты моделирования рельефа острова Выспа по данным воздушного лазерного сканирования. Дана физико-географическая характеристика острова.

Ключевые слова: озеро Селява; остров Выспа; лидар; лазерное сканирование; моделирование рельефа.

TERRAIN MODELING BASED ON AERIAL LASER SCANNING DATA ON THE EXAMPLE OF VYSPA ISLAND

A. A. Sazonau¹⁾, P. S. Kurlovich¹⁾, I. S. Knyazev¹⁾, A. N. Vashanov²⁾

¹⁾ Belarusian State University, Minsk, Nezavisimosti ave., 4, 2203030, Belarus, email: alexey.szonov@gmail.com;

²⁾ State scientific institution "Institute of History of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, str. Akademicheskaya, 1, 220072, Belarus

For the first time, the results of modeling the relief of the island of Vyspa based on aerial laser scanning data are presented. The geographical characteristics of the island are described.

Keywords: Selyava lake; Island Island; leader; laser scanning; relief modeling.

В последние годы в географии все шире используется метод воздушного лазерного сканирования (ВЛС), который позволяет получать высокоточные данные о рельефе земной поверхности. ВЛС основан на измерении времени отражения лазерных импульсов от объектов на земле, идущих от бортового оборудования (лазерного дальномера). Данные ВЛС могут быть использованы для моделирования рельефа с различной степенью детализации и точности, а также для анализа морфометрических характеристик рельефа, таких как высота, крутизна, экспозиция склонов, кривизна и т. д.

Целью данного исследования является моделирование рельефа по данным ВЛС на примере о. Выспа (озеро Селява).

Актуальность исследования обусловлена тем, что до настоящего момента рельеф о. Выспа не был детально исследован. ВЛС является современным и эффективным инструментом для изучения рельефа, который может дать новые знания о его формировании, эволюции и динамике. Кроме того, ВЛС может способствовать решению прикладных задач, связанных с оценкой геологических рисков, планированием землепользования, охраной природы и т.д.

Задачами данного исследования являются:

- создание цифровой модели рельефа (ЦМР) острова Выспа;
- сравнение ЦМР с другими источниками данных о рельефе;
- определение морфометрических параметров рельефа острова Выспа.

Озеро Селява одно из крупнейших в Беларуси, является ядром одноименного республиканского заказника. Площадь оз. Селява более 1,8 км², средняя глубина – 6,1 м, максимальная глубина достигает 17,6 м. Озерная котловина делится на две части – центральную (узкую и глубоководную) и северную (широкую). Береговая линия сильно изрезана [1].

Озеро Селява относится к системе реки Югна, являющаяся правым притоком реки Лукомка (бассейн р. Зап.Двина). Озеро проточное: на юге в него впадает река Высокая, на востоке – река Ракитовка. Протокой на юго-западе Селява соединяется с озером Худово, на западе и севере впадают три ручья. Сток по протоке в озеро Обида. Селява является зарегулированным водоемом после постройки плотины ГЭС (в 1961 г.) на реке Югна. Уровень воды в озере поднялся на 1,5 м. Под водой оказались обширные заболоченные низины. Реконструкция ГЭС проводилась в 2008-2011 годов [5].

Остров Выспа (белор. *выспа – небольшой (чаще всего песчаный) остров* [4]) расположен в центральной части оз. Селява, и может быть разделен на западную и восточную части (рис. 1). Остров образован в результате поднятия уровня воды в оз. Селява, по ныне затопленному перешейку на остров можно пройти вброд (рис. 2).

Остров разделяет плёс на две части – северную и южную. Северная часть озера мелководная. Лишь в некоторых местах глубины достигают 7-11 м. Южнее острова находятся максимальные глубины озера. Здесь же в южной части озера находятся несколько различных по величине низких (1,2-1,6 м) заболоченных и сплавинных островов общей площадью 0,3 км².

Площадь острова Выспа составляет 110 га. Установлено, что минеральная часть острова занимает площадь в 30 га.

Западная часть острова высокая, с максимальной высотной отметкой около 10 м, восточная сильно заболочена, сложена сплавной. Почвы западной части острова в основном дерново-подзолистые песчаные и супесчаные (рис. 2), в низменных участках торфяные, восточная часть острова формируется сплавной. Западные берег острова песчаный, с пляжами из

мелкой гальки; восточный, южный и северный берега в значительной мере зарастают водной и болотной растительностью.



Рис. 1. Снимок острова Выспа

Степень и характер зарастания озера высшей водной растительностью определяются морфометрическими особенностями котловины и прозрачностью воды в озере. В озере обнаружено 16 видов макрофитов.

Озеро имеет гидрофитный тип зарастания (66 % заросшей площади занято гидрофитами - в основном рдестами), всего заросли занимают почти 3,6 кв. км, или 20 % акватории.

Гелофитная (полупогруженная или надводная) растительность занимает 34 % заросшей площади, основные заросли сосредоточены в центральной части озера между островом и устьем р. Ракировка.

Заболоченная восточная часть острова Выспа представляет собой сплошные камышовые заросли, простирающиеся почти до восточного побережья (рис. 2) [5].

В настоящее время на острове известно три археологических памятника: поселение (найденны материалы от мезолита до позднего средневековья), поселение и стоянки раннего мезолита и неолита (рис. 3).

Воздушное лазерное сканирование проводилось в августе 2023 г. с использованием лазерного сканера DJI Zenmuse L1 на базе БПЛА DJI Matrice 300 RTK на высоте 100 м. Так как восточная часть острова представляет собой сплаvinу, проводилось моделирование только западной части острова.

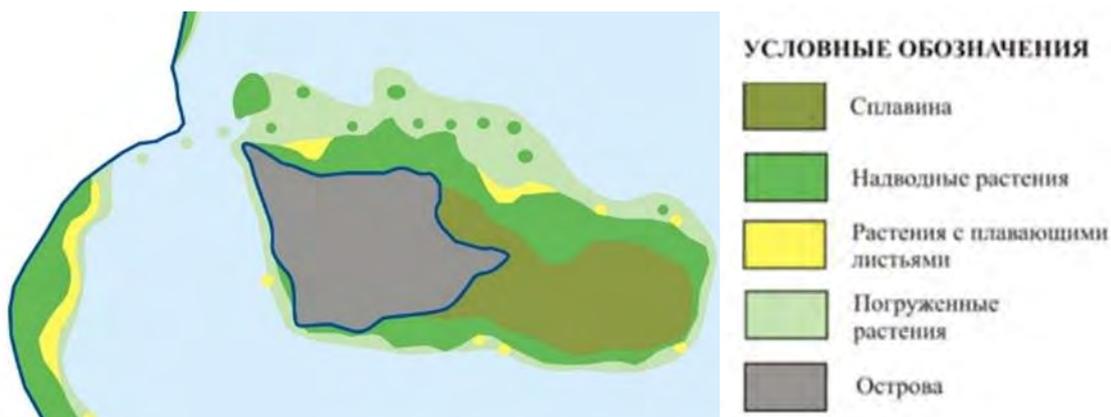


Рис. 2. Зарастание оз. Селява в районе о. Выспа [5]



Рис. 3. Раскоп

Характеристики системы DJI Zenmuse L1 следующие. Диапазон распознавания 450 м при отражаемости 80%, 190 метров при отражаемости 10%/ Частота точек при одном возврате 240 000 точек/с, при нескольких возвратах до 480 000 точек/с. Точность системы(RMS 1 σ) по горизонтали 10 см при высоте 50 м, по вертикали 5 см при высоте 50 м. Поле обзора при неповторяющемся шаблоне сканирования: 70,4 ° (по горизонтали) \times 77,2 ° (по вертикали); при повторяющемся шаблоне сканирования: 70,4 ° (по горизонтали) \times 4,5 ° (по вертикали).

Результатом работы лазерно сканера является облако точек – обработанные пространственно организованные данные лазерной съемки

(рис. 4). Исходные облака точек – это огромные наборы (могут достигать нескольких миллионов) высотных 3D точек, имеющих значения x , y , z , а также дополнительную атрибутику: время GPS, цвета RGB, отражаемость, номер возврата и т. д. Конкретные поверхности, отразившие сигнал, классифицируются после начальной обработки облака точек. Высоты земной поверхности, строений, покрова леса, путепроводов и других объектов, с которыми сталкивается лазерный луч, составляют данные облака точек.

Обработка данных последовательно выполнялась в DJI Terra и ArcGIS Pro, последовательность работ изложена в [3]. Морфометрический анализ рельефа выполнялся в SAGA 9. Результатом обработки стала первая цифровая модель рельефа (ЦМР) о. Выса с пространственным разрешением 30 см. Полученная ЦМР (рис. 3) значительно превосходит имеющиеся топографические карты и планы (рис. 2) на данную территорию по точности и позволяет обнаружить наиболее мелкие формы рельефа.

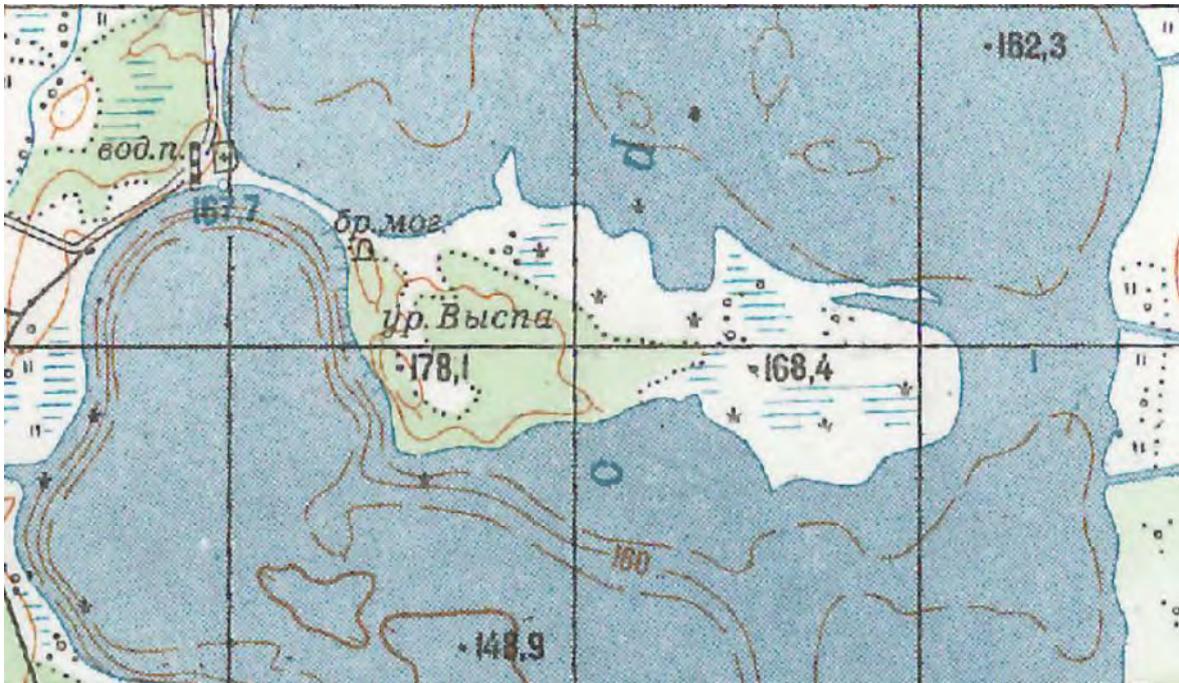


Рис. 4. Фрагмент топографической карты на участок исследования

Были рассчитаны следующие геоморфометрические показатели (рисунки 6-8):

- уклон;
- экспозиция;
- индекс влияния ветра;

Модель уклонов определяет уклон (градиент или крутизну) для каждой ячейки поверхности раstra. Величина уклонов напрямую связана с

потенциальной эрозией, модель может быть использована для выявления наиболее эрозионноопасных участков.

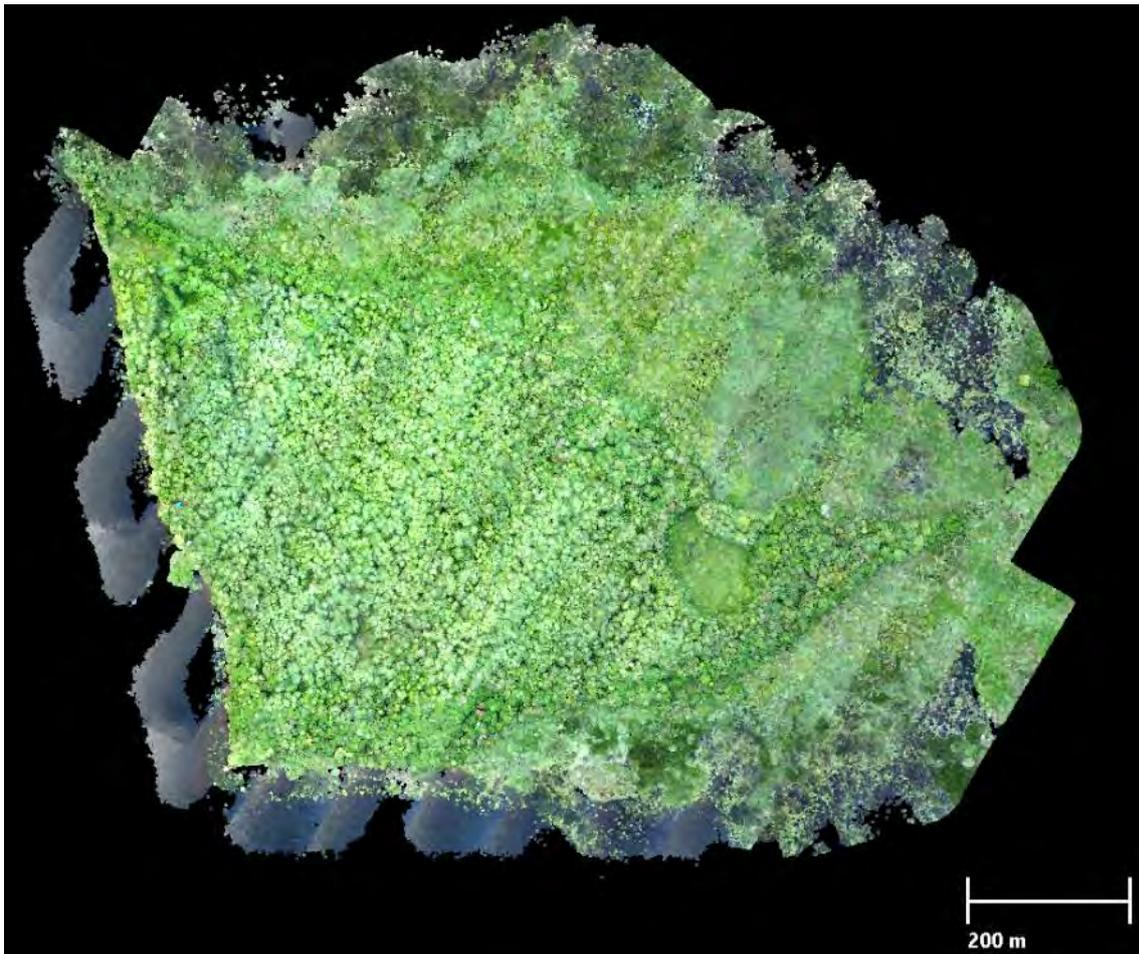


Рис. 5. Облако точек на территорию острова

Модель экспозиции склонов отображает экспозицию из каждой ячейки растровой поверхности. Экспозиция определяет направление по компасу уклона склона для каждого местоположения. Экспозиция выражается положительными значениями градусов от 0 до 360, измеряемыми по часовой стрелке от направления на север.

Индекс влияния ветра рассчитывается для всех направлений с использованием углового шага, это безразмерный индекс. Значения ниже 1 указывают на области, затененные ветром, тогда как значения выше 1 указывают на области, подверженные воздействию ветра.

Также была определена высота древесно-кустарниковой растительности по разности высот цифровой модели местности и рельефа (рис. 10). Максимальная высота составила 27,7 м.

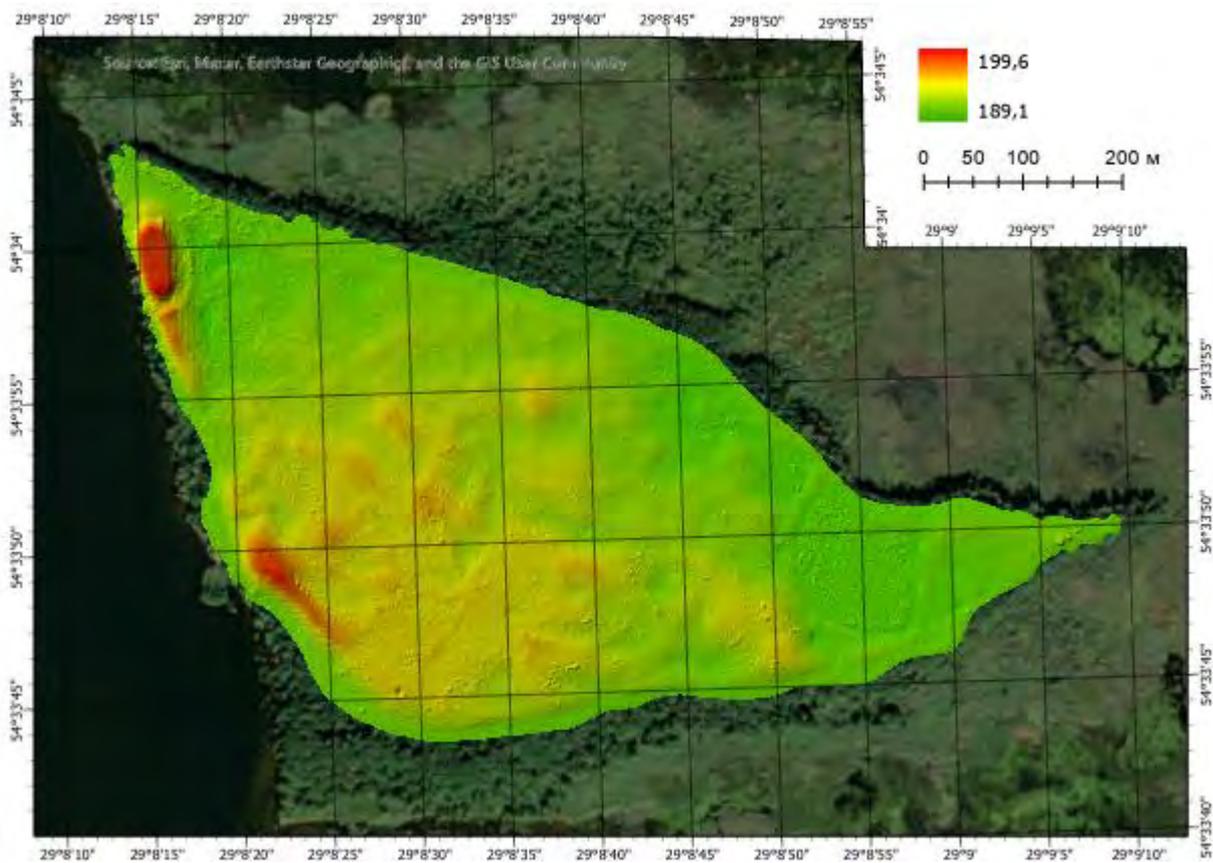


Рис. 6. Цифровая модель рельефа о. Выспа

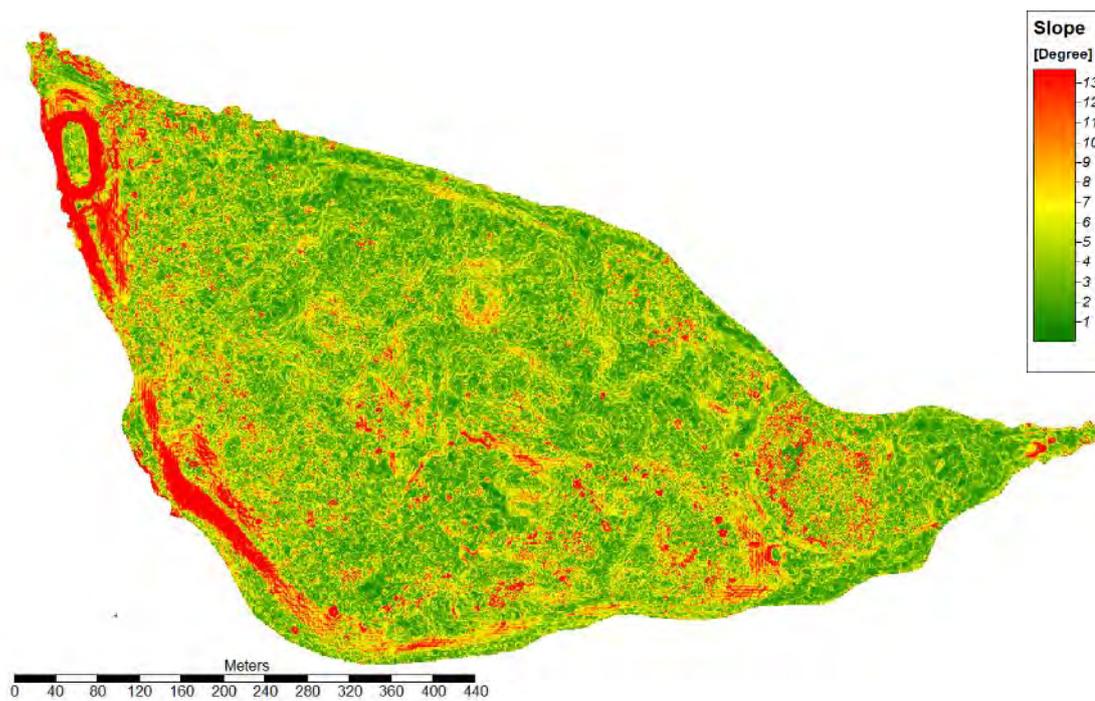


Рис. 7. Крутизна, градусы



Рис. 8. Экспозиция склонов

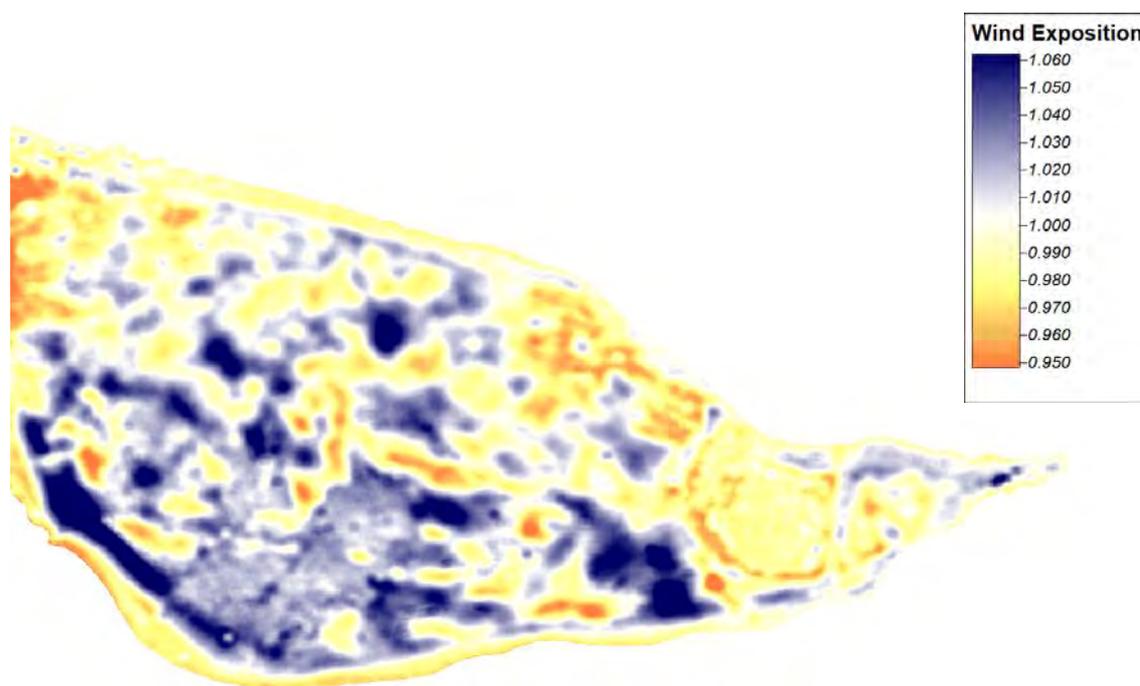


Рис. 9. Индекс влияния ветра

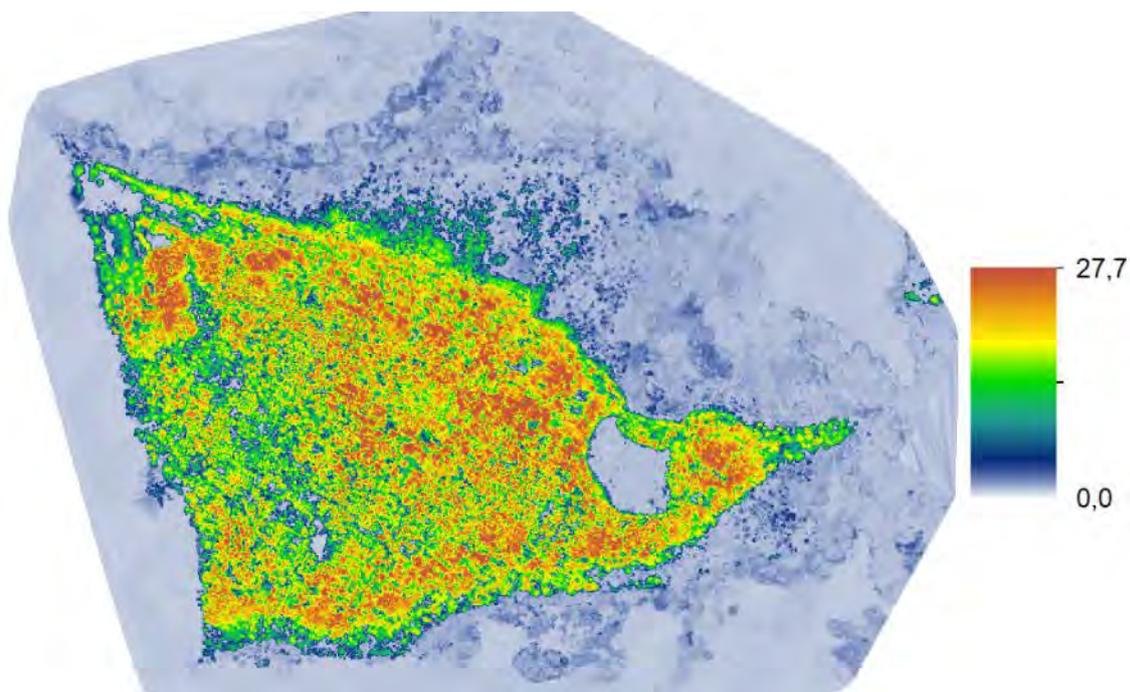


Рис. 10. Высота растительного покрова

Таким образом, нами впервые было произведено воздушное лазерное сканирование острова Выспа, создана высокоточная цифровая модель рельефа. Полученные данные могут быть использованы в целях природоохраны и планирования археологических исследований.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ: БРФФИ №Г23ИП-038 от 02.05.2023 «Применение воздушного лазерного сканирования на базе БПЛА для сохранения и изучения археологических объектов на территории Беларуси (на примере археологического наследия Полоцкой земли)».

Библиографический список

1. Республиканский заказник "Селява" / Интерактивный интернет-портал «Заповедные территории Беларуси. Виртуальный тур». URL: <http://zapovednytur.by/oopt/zakazniki-respublikanskogo-znacheniya/selyava.html> (дата обращения: 29.10.2023).
2. Сведения о данных дистанционного зондирования Земли на территорию Республики Беларусь / Государственное предприятие "БелПСХАГИ". URL: <https://www.dzz.by/izuchdzz/> (дата обращения: 30.10.2023).
3. Применение воздушного лазерного сканирования в археологических исследованиях на территории Беларуси / А. А. Сазонов [и др.] // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 нояб. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. А. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2022. С. 283-287.

4. *Тучинский А. В.* Безэквивалентная лексика как отражение белорусской языковой картины мира // Вестник Белорусского государственного педагогического университета. Серия 1. Педагогика. Психология. Филология. 2019. № 3 (101). С. 99-104.

5. Проведение мониторинга водной растительности: мероприятие 31, «Государственная программа обеспечения функционирования и развития Национальной системы мониторинга окружающей среды на 2011–2015 годы»: отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) / БГУ; научный руководитель Б. П. Власов. Проведение мониторинга водной растительности / Б. П. Власов [и др.]. Минск : БГУ, 2015.