(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 528.94:556.166

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.2

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА COPERNICUS DEM GLO-30 И FABDEM КАК ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ



Бильдюк Егор Викторович

Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Горные работы», магистр технических наук, аспирант, Беларусь
E-mail: bilduk@bntu.by
ORCID ID: 0000-0001-8494-9093



Павловский Александр Илларионович

Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, заведующий кафедрой «Горные работы», кандидат географических наук, доцент, Беларусь
E-mail: apavloskiy@bntu.by
ORCID ID: 0000-0003-2211-2559



Кологривко Андрей Андреевич

Белорусский национальный технический университет, декан факультета горного дела и инженерной экологии, кандидат технических наук, доцент, Беларусь
E-mail: akologrivko@bntu.by
ORCID ID: 0000-0003-2449-9419



Нарыжнова Евгения Юрьевна

Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Горные работы», магистр технических наук, старший преподаватель, аспирант, Беларусь
E-mail: naryzhnava.e@bntu.by
ORCID ID: 0009-0001-4653-250X

Аннотация. *В статье представлен геоинформационный сравнительный анализ двух глобальных цифровых моделей рельефа — Copernicus DEM GLO-30 и её модифицированной версии FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — как исходной основы для последующего гидрологического моделирования поверхностного стока на пойменных территориях. Объектом исследования выступает участок Пуховичского района Минской области — территория действующей открытой разработки торфяного месторождения с развитой осушительной сетью. Установлено, что за счёт удаления влияния древесной растительности и застройки поверхность FABDEM в среднем на 0,5–0,7 м ниже поверхности DEM GLO-30, при этом локальные расхождения на облесённых участках поймы достигают 10–16 м и пространственно приурочены к границам лесных массивов и застройки. Показано, что подобные артефакты рельефа GLO-30 способны формировать ложные подпруживающие гряды и искажать направления и объёмы поверхностного стока при последующем гидрологическом моделировании. Сделан вывод о предпочтительности использования FABDEM в качестве исходной основы для построения гидрологически корректных цифровых моделей рельефа пойменных территорий, в том числе для задач геоэкологического мониторинга техногенно нагруженных территорий открытой разработки.*

Ключевые слова: *FABDEM, Copernicus DEM GLO-30, цифровая модель рельефа, гидрологическое моделирование, пойма, поверхностный сток, дистанционное зондирование Земли, геоинформационные системы.*

Received: 14.09.2026 | Accepted: 01.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

POYMA HUDUDLARINI GIDROLOGIK MODELLASHTIRISH UCHUN COPERNICUS DEM GLO-30 VA FABDEM RAQAMLI RELYEF MODELLARINING QIYOSIY TAHLILI

Bildyuk Yegor Viktorovich
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti, "Kon ishlari" kafedrasi, texnika fanlari magistri, doktorant, Belarus

Pavlovskiy Aleksandr Illarionovich
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti, "Kon ishlari" kafedrasi mudiri, geografiya fanlari nomzodi, dotsent, Belarus

Kologrivko Andrey Andreyevich
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti dekani, texnika fanlari nomzodi, dotsent, Belarus

Naryjnova Yevgeniya Yuryevna
Belarus milliy texnika universiteti, Konchilik va muhandislik ekologiyasi fakulteti, "Kon ishlari" kafedrasi, texnika fanlari magistri, katta o'qituvchi, doktorant, Belarus

Annotatsiya. *Maqolada poyma hududlarida yer usti oqimini gidrologik modellashtirish masalalariga nisbatan ikkita global raqamli relyef modeli — Copernicus DEM GLO-30 va uning o'zgartirilgan versiyasi FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — qiyosiy tahlili keltirilgan. Tadqiqot ob'ekti sifatida Minsk viloyati Puxovichi tumanidagi rivojlangan quritish tarmog'iga ega bo'lgan amaldagi ochiq usulda qazib olinadigan torf koni hududi tanlangan. Daraxtzor o'simlik va qurilish ta'sirining olib tashlanishi hisobiga FABDEM sirti o'rtacha 0,5–0,7 m ga DEM GLO-30 sirtidan past ekanligi aniqlandi, poyma o'rmonzor uchastkalarida esa mahalliy farqlar 10–16 m gacha yetadi va o'rmon massivlari hamda qurilish chegaralariga birkikkan. GLO-30 relyefidagi bunday artefaktlar sun'iy to'siq tizmalarini hosil qilishi va gidrologik modellashtirishda yer usti oqimi yo'nalishlari va hajmlarini buzishi mumkinligi ko'rsatildi. Poyma hududlarining gidrologik jihatdan to'g'ri raqamli relyef modellarini qurish uchun, shu jumladan ochiq kon ishlarining texnogen yuklamaga ega bo'lgan hududlarida geoekologik monitoring masalalari uchun FABDEM dan foydalanish maqsadga muvofiqligi haqida xulosa qilingan.*

Kalit so'zlar: *FABDEM, Copernicus DEM GLO-30, raqamli relyef modeli, gidrologik modellashtirish, poyma, yer usti oqimi, Yerni masofadan zondlash, geoaxborot tizimlari.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF COPERNICUS DEM GLO-30 AND FABDEM DIGITAL ELEVATION MODELS FOR HYDROLOGICAL MODELING OF FLOODPLAIN AREAS

Bildyuk Yegor Viktorovich
Belarusian National Technical University, Faculty of Mining and Engineering Ecology, Department of Mining Operations, Master of Technical Sciences, Doctoral Student, Belarus

Pavlovskiy Aleksandr Illarionovich
Belarusian National Technical University, Faculty of Mining and Engineering Ecology, Head of the Department of Mining Operations, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Belarus

Kologrivko Andrey Andreevich
Belarusian National Technical University, Dean of the Faculty of Mining and Engineering Ecology, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belarus

Naryjnova Yevgeniya Yuryevna
Belarusian National Technical University, Faculty of Mining and Engineering Ecology, Department of Mining Operations, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Doctoral Student, Belarus

Abstract. *The paper presents a comparative GIS-based analysis of two global digital elevation models — Copernicus DEM GLO-30 and its modified version FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) — as a base for subsequent hydrological modeling of surface runoff in floodplain areas. The study object is a site in the Pukhovichi district of the Minsk region, representing an active open-cast peat extraction site with a developed drainage network. It is shown that, owing to the removal of forest and building bias, the FABDEM surface is on average 0.5–0.7 m lower than the DEM GLO-30 surface, while local discrepancies within forested floodplain sections reach 10–16 m and are spatially confined to the boundaries of forest tracts and built-up areas. Such relief artefacts of DEM GLO-30 are shown to be capable of forming spurious damming ridges and distorting the direction and volume of simulated surface runoff during subsequent hydrological modeling. It is concluded that FABDEM should*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

be preferred as the base surface for constructing hydrologically consistent digital elevation models of floodplain territories, including tasks of geoecological monitoring of technologically impacted open-cast mining sites.
Keywords: *FABDEM, Copernicus DEM GLO-30, digital elevation model, hydrological modeling, floodplain, surface runoff, Earth remote sensing, geographic information systems.*

Введение. Достоверность гидрологического моделирования поверхностного стока напрямую определяется качеством исходной цифровой модели рельефа (ЦМР). Глобальные радарные ЦМР, полученные по данным интерферометрической съёмки (SRTM, TanDEM-X/Copernicus DEM), фиксируют не только истинную поверхность земли, но и верхнюю границу отражающего слоя — полог леса, кроны деревьев, крыши зданий и иных сооружений. На равнинных и пойменных территориях с относительно малыми абсолютными перепадами высот подобный «растительно-строительный» шум может по амплитуде превышать собственно геоморфологические уклоны местности, что приводит к появлению на ЦМР ложных возвышенностей, гряд и замкнутых понижений, не имеющих отношения к реальному рельефу. Подобные искажения приобретают особое значение и в задачах непрерывного мониторинга геологической среды техногенно нагруженных территорий, где принципиально важна фиксация даже сравнительно небольших, порядка первых метров, изменений рельефа [9].

Для гидрологического и гидравлического моделирования — построения карт затопления, расчёта направлений и путей стекания, делимитации водосборов и русловых сетей — подобные артефакты особенно критичны: ложные повышения способны формировать фиктивные подпруживающие барьеры, изменять направление трассировки потока и искажать оценку объёмов и площадей затопления поймы. Одним из способов устранения указанной проблемы является продукт FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM), предложенный группой исследователей Бристольского университета: с помощью моделей машинного обучения из поверхности Copernicus DEM GLO-30 удаляется систематическое смещение, вызванное растительностью и застройкой, что приближает результирующую поверхность к истинному рельефу земли [1]. Именно подобным образом скорректированные глобальные ЦМР лежат в основе современных гидрографических продуктов, таких как MERIT Hydro, применяемых для делимитации водосборов и построения русловых сетей в глобальном масштабе [3].

Целью настоящего исследования является количественная и качественная оценка расхождений между исходной моделью Copernicus DEM GLO-30 и модифицированной моделью FABDEM применительно к пойменным территориям исследуемого участка и обоснование выбора более предпочтительного источника исходных данных о рельефе для последующего гидрологического моделирования поверхностного стока на данном объекте.

Материалы и методы. Объектом исследования является участок территории Пуховичского района Минской области площадью около 65 км², ограниченный координатами 53,43–53,49° с.ш. и 27,71–27,81° в.д., включающий пойму реки Ковалёвка. В границы участка входит торфяное месторождение «Гала-Ковалевское» — действующий объект добычи торфа, эксплуатируемый с 1998 г. и оснащённый развитой осушительной сетью и насосными станциями откачки воды [8]. Добыча торфа по действующей классификации полезных ископаемых относится к разработке месторождений открытым способом, что определяет непосредственную прикладную значимость исследования для задач геоэкологического мониторинга техногенно нагруженных территорий открытой разработки. Рельеф участка равнинный, слабоволнистый, с амплитудой абсолютных высот от 154 до примерно 207 м; значительная часть пойменных земель занята пойменными лесами, кустарниковой растительностью и отдельными населёнными пунктами, что делает территорию репрезентативной для оценки влияния «растительно-строительного» шума на качество

ЦМР.

В работе использованы два источника данных о рельефе. Первый — Copernicus DEM GLO-30, глобальная радарная ЦМР с пространственным разрешением 30 м (1 угловая секунда), построенная по материалам радиолокационной интерферометрической съёмки TanDEM-X и распространяемая Европейским космическим агентством [2]. Второй — FABDEM (версия 1-2), представляющая собой производную от Copernicus DEM GLO-30 модель, в которой с применением алгоритмов машинного обучения скорректировано систематическое завышение высот, вызванное древесной растительностью и застройкой [1].

Обработка данных выполнена по единой методике: приведение обоих растров к идентичной сетке и системе координат WGS-84 (поскольку FABDEM по построению является поячейковой производной Copernicus DEM GLO-30 [1], оба растра исходно имеют общее пространственное разрешение 30 м, единый охват и выравненную сетку пикселей. Вследствие этого данный шаг сводился к контролю совпадения границ и проекции, без необходимости передискретизации поверхностей и связанного с ней привнесения интерполяционных артефактов. Исключение этапа интерполяции позволяет избежать искажения локальных экстремумов рельефа, сохранение которых требует отдельного обоснования [4]); построение изолинейных карт рельефа с шагом сечения 2 м (рис. 1, рис. 2); совместная трёхмерная визуализация поверхностей для качественного сопоставления форм рельефа (рис. 3); вычисление растра разностей $\Delta Z = Z_{GLO-30} - Z_{FABDEM}$ и обратного растра $\Delta Z = Z_{FABDEM} - Z_{GLO-30}$ для раздельной визуализации положительных и отрицательных аномалий (рис. 5, рис. 6); статистическая обработка массива разностей с расчётом среднего значения, медианы, стандартного отклонения, средней абсолютной ошибки (MAE), среднеквадратической ошибки (RMSE), экстремумов и долей площади с превышением пороговых значений $|\Delta Z|$ (табл. 1); построение и сопоставление двух пересекающихся высотных профилей, трассы которых намеренно проведены через облесённые и открытые участки поймы (рис. 7). Отметим, что ячейки растра разностей пространственно автокоррелированы, в связи с чем приведённые статистические показатели (табл. 1) следует рассматривать как описательные характеристики выборки, а не как результат, для которого корректно применение классических доверительных интервалов, предполагающих независимость наблюдений; строгий учёт пространственной структуры подобных данных обеспечивается методами геостатистики [5].

Следует оговорить методическое ограничение принятого подхода: сопоставление выполнено между двумя производными (косвенными) моделями рельефа, ни одна из которых не является инструментально измеренным эталоном. Прямая геодезическая верификация участка — наземные измерения GNSS в режиме RTK, тахеометрическая съёмка контрольных точек либо лидарная съёмка с БПЛА — в рамках настоящей работы не проводилась и рассматривается как необходимое направление дальнейших исследований на территории исследуемого участка. В качестве косвенного, независимого от самих сопоставляемых ЦМР подтверждения природы выявленных расхождений использовано их пространственное сопоставление с положением лесных массивов и застройки по картографической основе и общедоступным данным дистанционного зондирования (рис. 4): совпадение зон максимальных по модулю значений ΔZ с контурами лесных кварталов и границами населённых пунктов при близких к нулю расхождениях на открытых пойменных участках (см. рис. 5, рис. 6 и раздел «Результаты и обсуждение») указывает на растительно-строительную, а не геоморфологическую природу этих артефактов. Такой приём является общепринятой практикой предварительной оценки качества глобальных ЦМР при отсутствии полевых эталонных данных [1, 3], однако не заменяет полноценной инструментальной верификации, и полученные количественные показатели (табл. 1) следует интерпретировать как оценку различий между двумя моделями, а не как оценку абсолютной

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

точности каждой из них относительно истинной земной поверхности.

Результаты и обсуждение. Визуальное сопоставление изолинейных карт (рис. 1 и 2) демонстрирует принципиальное сходство общего плана рельефа территории при заметных локальных различиях. На карте DEM GLO-30 в северо-западной и юго-западной частях участка, соответствующих массивам пойменного леса, изолинии образуют компактные замкнутые повышения с плотным рисунком горизонталей — характерный признак «купольных» артефактов, вызванных отражением радиолокационного сигнала от лесного полога. На карте FABDEM аналогичные участки заметно сглажены: изолинии становятся более разреженными и плавными, что указывает на удаление растительной составляющей сигнала.

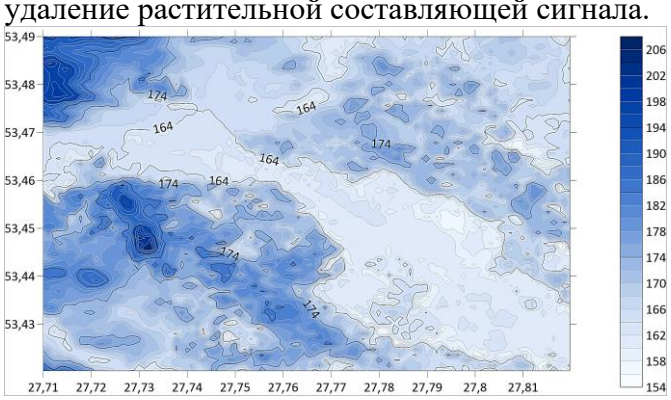


Рис.1. Цифровая модель рельефа территории исследования по данным Copernicus DEM GLO-30.

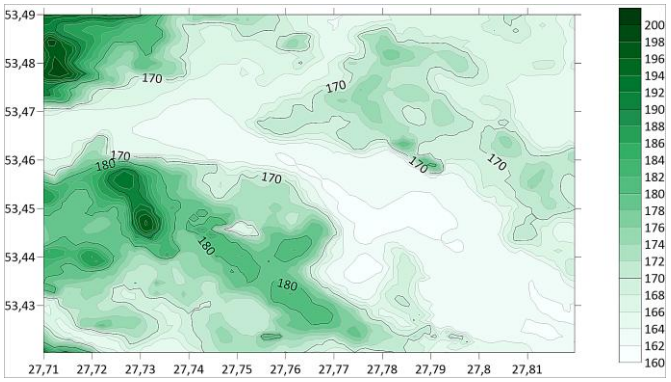


Рис.2. Цифровая модель рельефа той же территории по данным FABDEM.

Совместная трёхмерная визуализация двух поверхностей (рис. 3) наглядно демонстрирует характер расхождений: поверхность DEM GLO-30 (синяя шкала) практически повсеместно образует более «изрезанный», игольчатый микрорельеф с локальными пиками, тогда как поверхность FABDEM (зелёная шкала) сохраняет генеральные формы рельефа, но выглядит существенно более гладкой, особенно в границах лесных массивов в западной части участка.

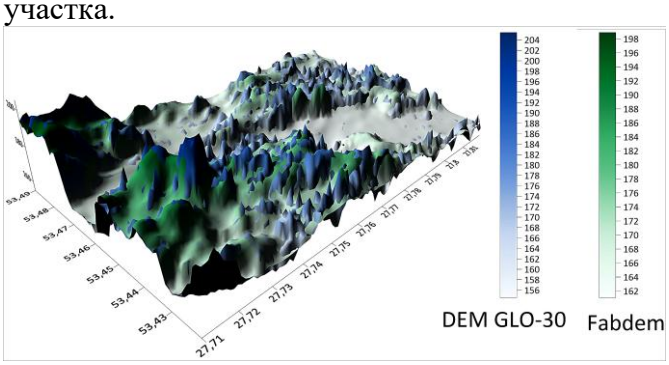


Рис.3. Трёхмерное сопоставление поверхностей Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM.

Количественная оценка расхождений выполнена путём построения растра разностей и его статистической обработки (табл. 1). Среднее значение разности ΔZ = DEM GLO-30 − FABDEM по всей территории составило −0,69 м при медиане −0,51 м, что подтверждает систематическое занижение поверхности FABDEM относительно исходной модели вследствие удаления «растительно-строительного» смещения. Стандартное отклонение разности достигает 2,88 м, RMSE — 2,97 м, а экстремальные значения варьируют от −16,43 до +15,67 м, что сопоставимо с высотой древостоя на пойменных лесных участках. Не менее показательны доли площади с превышением пороговых значений расхождений: более чем на половине территории (54,61 %) расхождение по модулю превышает 1 м, более чем на трети площади (35,65 %) — превышает 2 м, а на 10,18 % площади различия превышают 5 м, что для равнинной поймы с амплитудой рельефа порядка первых десятков метров является величиной, критичной для корректного гидрологического моделирования.

Таблица 1.

Статистические показатели разностей ΔZ = DEM GLO-30 – FABDEM

Показатель	Значение
Среднее ΔZ	−0,69 м
Медиана ΔZ	−0,51 м
Стандартное отклонение (Std)	2,88 м
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	2,03 м
Среднеквадратическая ошибка (RMSE)	2,97 м
Минимум	−16,43 м
Максимум	+15,67 м
Доля площади с |ΔZ| > 1 м	54,61 %
Доля площади с |ΔZ| > 2 м	35,65 %
Доля площади с |ΔZ| > 5 м	10,18 %
Доля площади с |ΔZ| > 10 м	0,85 %



Рис.4. Спутниковый снимок территории исследования и прилегающей местности, иллюстрирующий фактическое распределение лесного покрова, открытых сельскохозяйственных земель и объекта торфодобычи. Источник: Google Earth (снимки Maxar Technologies, CNES/Airbus, 2026).

На снимке (рис. 4), охватывающем исследуемый участок и прилегающую местность несколько большей площади, отчётливо видно чередование сплошных лесных массивов (тёмно-зелёные участки), открытых сельскохозяйственных земель (более светлые оттенки зелёного и коричневого) и непосредственно объекта торфодобычи — вытянутых прямоугольных карт с характерным полосчатым рисунком фрезерного способа добычи, соединённых подъездной дамбой с дорогой общего пользования. Визуальное сопоставление снимка с картами разностей ΔZ (рис. 5, рис. 6) показывает, что описанная выше картина — сосредоточение положительных аномалий GLO-30 в границах древостоя и их отсутствие на открытых участках — качественно согласуется с реальным распределением растительного покрова на местности. Снимок охватывает несколько более широкую территорию, чем непосредственно проанализированный участок, и приводится как общий иллюстративный материал, а не как прецизионно совмещённый со шкалой ЦМР слой; тем не менее он подтверждает адекватность интерпретации артефактов GLO-30 как растительно-строительных, а также визуально документирует техногенную нагрузку территории, о которой идёт речь в разделе «Заключение».

Пространственное распределение расхождений (рис. 5, рис. 6) подтверждает их приуроченность к границам лесных массивов и отдельным объектам застройки. Положительные аномалии (DEM GLO-30 выше FABDEM, зелёные зоны на рис. 5) образуют вытянутые вдоль опушек и внутри лесных кварталов полосы величиной до 8–13 м, тогда как участки открытой поймы, сенокосов и русловых частей рек демонстрируют минимальные расхождения (в пределах ±1 м, светлый тон на обеих картах), что свидетельствует о сохранении в FABDEM истинной геометрии открытой поверхности при удалении именно растительной составляющей сигнала.

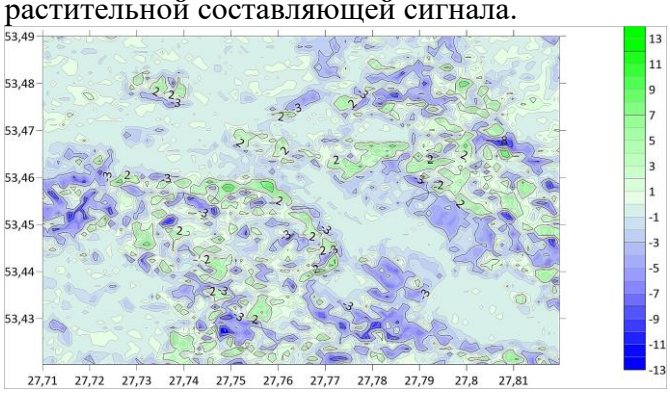


Рис.5. Карта разностей ΔZ = DEM GLO-30 – FABDEM.

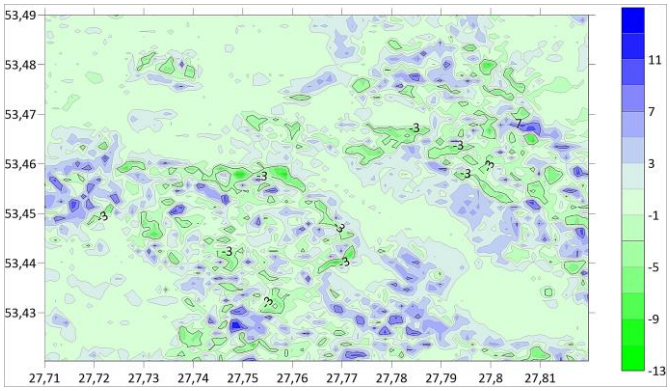


Рис.6. Карта разностей ΔZ = FABDEM – DEM GLO-30 (инвертированная шкала).

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Анализ высотных профилей, намеренно проведённых через контрастные по характеру подстилающей поверхности участки (рис. 7), подтверждает сделанные выводы на локальном уровне. Профиль 1, пересекающий облесённые повышения в восточной половине территории, демонстрирует на модели DEM GLO-30 серию острых пиков высотой 5–8 м, отсутствующих на сглаженном профиле FABDEM — именно такие ложные пики способны формировать на модели поверхностного стока фиктивные водоразделы и подпруживающие гряды. Профиль 2, преимущественно проходящий по открытой части поймы, показывает практически полное совпадение обеих моделей на всём протяжении, за исключением начального участка вблизи застроенной территории, где различие между моделями достигает 5–7 м, что соответствует высоте зданий и сооружений, удалённых алгоритмом FABDEM.

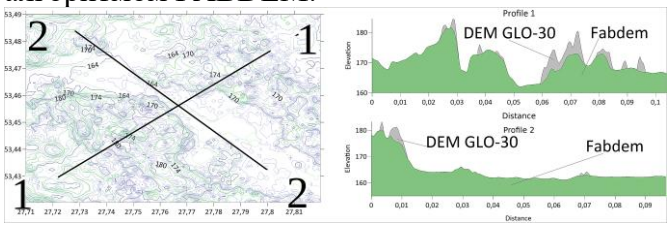


Рис.7. Сопоставление высотных профилей 1–1' и 2–2' по моделям DEM GLO-30 и FABDEM.

Делимитация водосборных бассейнов. Для прямой, а не только косвенной проверки гидрологических последствий выявленных различий по обеим моделям рельефа средствами специализированной ГИС Surfer выполнена делимитация водосборных бассейнов и русловой сети исследуемого участка — по методике, ранее апробированной для условий месторождений Беларуси [6] и согласующейся с принципами построения глобальных гидрографических продуктов типа MERIT Hydro [3] (рис. 8, рис. 9). На картах жирной чёрной линией показано положение р. Ковалёвка, синими линиями — водотоки; заливкой показаны контуры выделенных водосборных бассейнов, при этом более насыщенный тон соответствует бассейнам более высокого порядка вложенности (с большей суммарной площадью водосбора), менее насыщенный — водосборам первого порядка, примыкающим к истокам.



Рис.8. Схема водосборных бассейнов и русловой сети территории по данным Copernicus DEM GLO-30.

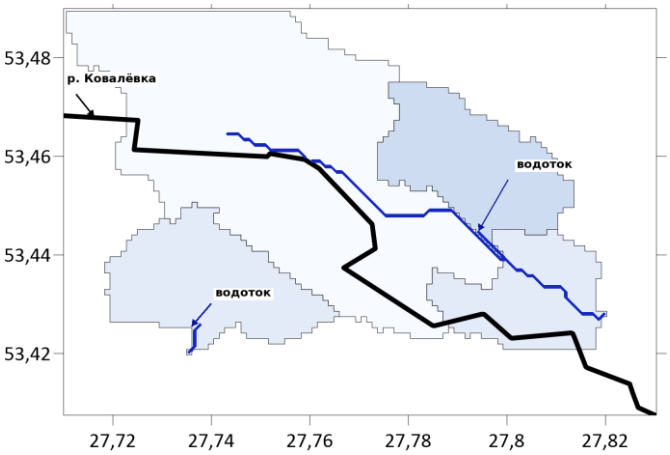


Рис.9. Схема водосборных бассейнов и русловой сети территории по данным FABDEM.

Сопоставление рис. 8 и рис. 9 показывает, что выбор исходной ЦМР существенно влияет на результат делимитации. По данным Copernicus DEM GLO-30 (рис. 8) центральная и восточная части территории (примерно 27,76–27,82° в.д.) объединены в единый водосборный бассейн практически однородной насыщенности, без выделения его внутренней структуры. По данным FABDEM (рис. 9) в пределах той же территории дополнительно выделяются обособленный бассейн более высокого порядка в северо-восточной части участка (около 27,78–27,82° в.д., 53,46–53,49° с.ш.) и локально вложенный водосбор в её центральной части (около 27,78–27,80° в.д., 53,42–53,45° с.ш.),

которые на карте по GLO-30 не дифференцируются и поглощаются общим контуром. Показательно, что это расхождение возникает именно там, где, по данным рис. 5 и рис. 6, сосредоточены наиболее крупные артефакты рельефа GLO-30, связанные с лесной растительностью: ложные локальные повышения на границах лесных кварталов формируют на исходной модели фиктивные водораздельные линии, которые либо необоснованно объединяют смежные бассейны в один контур, либо маскируют реально существующую иерархию водосборов.

Положение самого русла р. Ковалёвки и её притоков, напротив, практически не меняется от модели к модели. Это согласуется с общей геоморфологической логикой: русло реки приурочено к тальвегу поймы — устойчивой линейной отрицательной форме рельефа, которая на обеих ЦМР выражена значимо более крупным по амплитуде понижением, чем локальные артефакты растительного происхождения, и поэтому надёжно распознаётся независимо от модели. Водораздельные же линии, напротив, проходят по повышенным участкам междуречий, которые в равнинной и слабоволнистой пойме зачастую заняты именно лесной растительностью (см. описание объекта исследования) — то есть по тем самым элементам рельефа, где искажающее влияние растительно-строительного шума на Copernicus DEM GLO-30 максимально (рис. 5). Тем самым структура водосборов оказывается системно более чувствительной к качеству исходной ЦМР, чем положение самого водотока.

Таким образом, результаты делимитации водосборов служат прямым подтверждением выводов, сделанных выше по картам разностей ΔZ и высотным профилям, а не просто их иллюстрацией: использование FABDEM в качестве исходной модели рельефа обеспечивает более детальную и внутренне непротиворечивую структуру водосборных бассейнов, тогда как использование GLO-30 сопряжено с риском занижения числа и границ реально существующих бассейнов вследствие маскирующего влияния растительного покрова на водораздельных линиях. Это дополнительно и уже на уровне самого гидрологического моделирования, а не только сравнения высотных отметок, обосновывает предпочтительность FABDEM для задач, заявленных в названии настоящей работы.

Полученные результаты подтверждают исходную гипотезу исследования: отдельные возвышенности на исходной ЦМР Copernicus DEM GLO-30 в пределах пойменных территорий в значительной части случаев соответствуют не формам рельефа, а древесной растительности или застройке. При использовании подобной модели в качестве основы гидрологического моделирования (расчёт направлений стока, делимитация водосборов — методика построения которых средствами специализированных ГИС ранее отработана применительно к условиям месторождений Беларуси [6], — построение карт глубин и площадей затопления) ложные гряды способны существенно исказить результаты моделирования — вплоть до образования на модели несуществующих в действительности локальных водоразделов, изменения трассировки тальвегов и занижения расчётных площадей затопления в облесённых частях поймы. Модель FABDEM, устраняющая указанный источник ошибок, в этой связи представляет собой более предпочтительную основу для построения гидрологически корректной цифровой модели рельефа пойменных территорий, при этом целесообразно дополнять её материалами полевых геодезических измерений русловой части рек и контрольными точками для верификации точности на конкретном участке.

Отметим, что само по себе систематическое занижение поверхности FABDEM относительно Copernicus DEM GLO-30 за счёт удаления сигнала растительности и застройки является задокументированным свойством продукта FABDEM [1] и не составляет предмета научной новизны настоящей работы. Научно-практическая значимость исследования состоит не в переоткрытии этого свойства, а в его количественной и пространственной локализации применительно к конкретному инженерному объекту — пойменным территориям исследуемого участка с действующей осушительной сетью, — что позволяет перейти

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

от общего вывода о предпочтительности FABDEM к обоснованному инженерному решению о выборе исходной модели рельефа для последующих гидрологических и мелиоративных расчётов на данном конкретном участке.

Заключение. Проведённый сравнительный анализ цифровых моделей рельефа Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM на примере пойменных территорий Пуховичского района Минской области показал, что удаление из исходной радарной модели влияния древесной растительности и застройки приводит к систематическому занижению высот в среднем на 0,5–0,7 м, при этом локальные расхождения на облесённых участках поймы достигают 10–16 м, а доля территории с расхождением более 2 м превышает треть площади исследуемого участка. Установлено, что подобные артефакты рельефа GLO-30 сосредоточены практически исключительно в границах лесных массивов и застроенных территорий и способны формировать на модели поверхностного стока ложные подпруживающие гряды, искажающие направления и объёмы стекания воды. По результатам исследования сделан вывод о предпочтительности использования FABDEM в качестве исходной основы построения цифровых моделей рельефа для целей гидрологического моделирования пойменных территорий, в том числе для последующего моделирования зон затопления поймы реки Ковалёвка в границах Пуховичского района.

Полученные результаты имеют непосредственное значение для задач геоэкологической безопасности техногенно нагруженных территорий при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. Открытая разработка месторождений — в границах одного из которых, действующего торфяного месторождения «Гала-Ковалевское», эксплуатируемого с 1998 г. и оснащённого развитой осушительной сетью и насосными станциями откачки воды [8], сопровождается устройством дренажных, водоотводящих и водоотливных систем, а также формированием техногенного рельефа — отвалов, уступов и бортов выработок, устойчивость и геоэкологическая безопасность которых требуют учёта достоверных данных о рельефе прилегающей территории. В частности, оценка влияния поверхностных вод на карьерное поле средствами специализированных геоинформационных систем ранее апробирована для условий месторождений Беларуси [7], что подчёркивает практическую востребованность гидрологически корректных цифровых моделей рельефа именно для условий открытой разработки. Работа подобных дренажных и водоотливных систем сопровождается изменением естественного режима стока прилегающих малых рек и их пойм; корректная оценка направлений и объёмов поверхностного стока в таких условиях невозможна без гидрологически достоверной цифровой основы рельефа. Поскольку артефакты застройки и древесной растительности на исходных радарных ЦМР типа Copernicus DEM GLO-30 способны формировать на пойменных участках ложные подпруживающие гряды, использование подобной модели без предварительной коррекции создаёт риск неверной оценки зон подтопления и путей миграции загрязнений непосредственно в границах горного отвода и прилегающих техногенно нагруженных территорий. Обоснованный в настоящей статье переход на модель FABDEM повышает достоверность цифровых моделей рельефа, используемых при мониторинге геологической среды исследуемой территории, и потому согласуется с принятой в рамках проекта методикой пространственно-временного анализа трансформации геологической среды техногенно нагруженных территорий [9].

Исследования выполнены в рамках реализации проекта БРФФИ–МИРРУ № Х25УЗБ-054 «Особенности обеспечения геоэкологической безопасности техногенно нагруженных территорий в процессе разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом» на 2025–2027 гг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. Environmental Research Letters, 17(2), 024016. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f

[2] European Space Agency, & Airbus Defence and Space. (2022). Copernicus DEM global and European digital elevation model (GLO-30, GLO-90): Product handbook. Copernicus.eu.

[3] Yamazaki, D., Ikeshima, D., Sosa, J., Bates, P. D., Allen, G. H., & Pavelsky, T. M. (2019). MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography datasets. Water Resources Research, 55(6), 5053–5073. https://doi.org/10.1029/2019WR024873

[4] Антоненко, А. Г., & Семченко, А. С. (2021). Применение интерполяции в геоинформационных системах. In Е. В. Бильдюк (Ed.), Безопасность промышленного предприятия: инженерные и управленческие решения: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции (p. 217). БНТУ.

[5] Бильдюк, Е. В., & Астапенко, Т. С. (2021). Решение комплекса горных задач на базе анализа пространственно-распределенных данных геостатистическими методами. In Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: материалы X Международной научно-технической конференции (pp. 187–190). Екатеринбург.

[6] Бильдюк, Е. В., & Павловский, А. И. (2024). Использование геоинформационной системы Surfer для анализа водосборных бассейнов. In Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения: материалы международной научно-практической конференции (pp. 294–295). ВГУ им. П. М. Машерова. EDN OVFAMA.

[7] Вишневская, А. И. (2022). Использование геоинформационной системы Surfer при анализе влияния поверхностных вод на карьерное поле. In Е. В. Бильдюк (Ed.), Перспективы инновационно-технологического и экономического развития минерально-сырьевого комплекса: сборник материалов XX Международной научно-практической конференции (Vol. 2, p. 116). БНТУ.

[8] Кунцевич, В. Б., Курзо, Б. В., Гайдукевич, О. М., Макаренко, Т. И., Агейчик, И. В., Татков, А. Ю., & Калилец, Л. П. (2024). Методика расчета физико-технических и эксплуатационных характеристик карбонатного сапропеля при применении скважинной гидродобычи. Природопользование, (2), 123–130.

[9] Павловский, А. И., Кологривко, А. А., Нарыжнова, Е. Ю., & Бильдюк, Е. В. (2026). Методика пространственно-временного анализа трансформации геологической среды техногенно нагруженных территорий с применением программного обеспечения «КРЕДО Анализ пространственных данных». Цифровые технологии в промышленности, 4(1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.23

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Бильдюк, Е. В., Павловский, А. И., Кологривко, А. А., & Нарыжнова, Е. Ю. (2026). Сравнительный анализ цифровых моделей рельефа Copernicus DEM GLO-30 и FABDEM как основы гидрологического моделирования пойменных территорий. Цифровые технологии в промышленности, 4(3-1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.2